



**Espacenet**

## Bibliographic data: JP 10503300 (T)

### ADAPTIVE OPTICAL MODULE

**Publication date:** 1998-03-24  
**Inventor(s):**  
**Applicant(s):**  
**Classification:**

- international: G01J9/00; G02B26/06; (IPC1-7): G02B26/06
- European: G01J9/00; G02B26/06

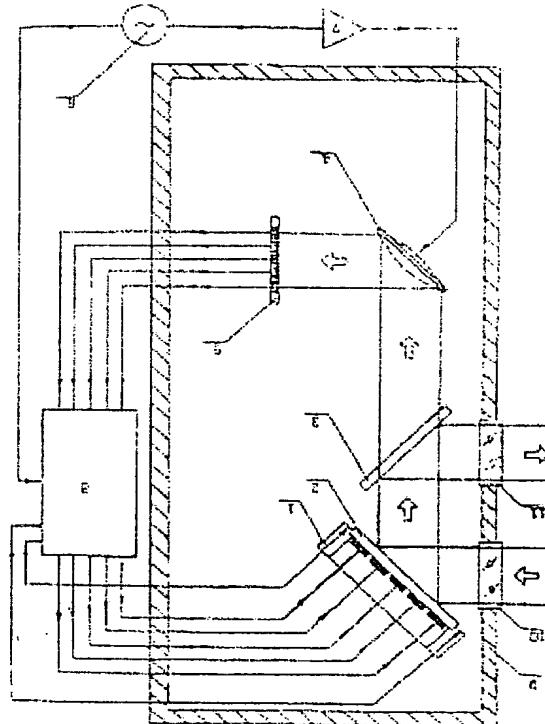
**Application number:** JP19960533980T 19960617  
**Priority number(s):** WO1996RU00161 19960617; RU19960108197 19960506  
**Also published as:**

- WO 9635973 (A1)
- RU 2084941 (C1)
- EP 0779530 (A4)
- EP 0779530 (A1)
- AU 6672996 (A)

**Abstract not available for JP 10503300**

**(T) Abstract of corresponding document:**  
**WO 9635973 (A1)**

The invention pertains to the field of controllable optics and can be used for manipulating a radiation wave front or for correcting phase distortions in optical equipment and in a wide range of systems including industrial laser systems, optical telescopes of different spectral ranges, and optical guidance and tracking systems. The invention in essence lies in improving the range and precision of the phase distortion correction while also increasing the maximum permissible power of the radiation used and simplifying the adaptive optical system. This has been achieved by using in the adaptive optical module a dynamic adjusting head in which is mounted a deformable dimorphic mirror, coolable if necessary, in the form of a semi-passive dimorphic structure containing a system of multiple-layer piezo-elements, a radiation detector in the form of a hexagonal photodiode lattice and hexagonal lens lattice. All the optical elements of the module including the radiation detector can be fitted in the same housing provided with inlet and outlet optical windows. In addition, the proposed design increases the sensitivity and reliability of the adaptive optical module, and significantly increases its operational potential.



**Last updated:**  
15.11.2010 Worldwide

Database 5.7.20, 93p

## \* NOTICES \*

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

## [Claim(s)]

1. Deformable bimorph mirror, beam split elements, abnormal-conditions mirror, and master oscillator, An abnormal-conditions mirror signal amplifier with which it was combined with one input of a master-oscillator output, and an output was combined with this abnormal-conditions mirror, It is an adaptive optics module which consists of this compensator containing an image formation optical system, a radiation receptor of photo-diode arrangement type, and an electronic amplifier-converter with which an input was combined with a compensator, A deformable bimorph mirror which this compensator was made from a form of a dynamic alignment head provided in it, and was made from a form of half-passivity bimorph structure, It consists of a hexagon mosaic system of a multilayer piezoelectric element of a hexagon or a circle configuration, A module, wherein this radiation receptor was made from a form of arrangement of a hexagon of a photo-diode where circular or it has an optical opening of a hexagon and this electronic amplifier-converter is made from the possibility of generating of a dynamic alignment head driving control signal.

2. Module according to claim 1, wherein it can establish arrangement of hexagon of lens which has optical circular opening and this arrangement is arranged in front of radiation receptor.

3. Module according to claim 2, wherein each radiation receptor photo-diode is arranged at focus of arrangement of hexagon of lens corresponding to opening.

4. The module according to claim 2 which being able to attach a fiber optical cable of a lot, combining each with a single subopening of a hexagonal array of a lens by 1 side, and combining with a radiation receptor corresponding to a photo-diode by a side else.

The module according to claim 4, wherein it can provide an optical element combined with a hexagonal array of a lens by 5.1 sides, and is combined with a single fiber optical cable of a lot by a side else and a focus of all the subopenings of hexagon-head arrangement of a lens is in agreement with the back of this optical element.

6. Can provide a common case and all the optical parts are arranged here including a radiation receptor, This case consists of ON and an output optical window, and an input optical window is arranged in front of a deformable bimorph mirror in a way of a beam which carries out ingress there, A module given [ of the Claims 1-5, wherein it is reflected from there or an output optical window is arranged over beam split elements in a way of a beam which passes through that ] in any 1 clause. 7. An input optical window is formed in a form of an object lens, and the incident light opening corresponds to a size of a transverse direction of a beam which carries out ingress to this module, The module according to claim 6 attaching a condition by a deformable bimorph mirror controllable light opening about an angle of inclination of a mirror proportional to a beam which carries out ingress to it to the emitted light opening.

8. Module given [ of the Claims 1-7, wherein a deformable bimorph mirror is made from a form of a product which can be cooled ] in any 1 clause.

9. An electronic amplifier-converter is connected to a radiation receptor corresponding to a photo-diode in the input, The output is connected to an input of a synchronous detector which was able to provide a subtractor circuit, and one of the inputs is connected to a master-oscillator output, An output can form a subtractor connected to a converter connected in parallel with mutual, and a multiplier, This converter and a multiplier via the first amplifier, respectively to a dynamic alignment head actuator. And a module given [ of the Claims 1-8 connecting to a deformable bimorph mirror multilayer piezoelectric element in series via a digital/analog converter and the second amplifier ] in any 1 clause.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

Field this invention of adaptive optics module this invention about a controllable optical system, It is used for the system of the large class containing the radiation wave side (wavefront) control with an optical device or phase-distortion amendment and an industrial laser technique complex, the optical telescope of a different spectral range, lightguide, and a tracking system.  
 The adaptive optics system air phase-distortion correcting system of the background telescope of this invention is known (J. J.E.Graves."Adaptive optics at the University). [ Anuskewicz, M.J.Northcott, ] of Hawaii:II.Control. system with real-time. diagnostics"Proc.SPIE, 1994, vol.2201, p.879-888 and J.E.Graves, F.Rodder, M.J.Northcott, and J.Anuskewicz."Adaptive. optics at the University. of Hawaii:IV.A photon counting curvature wave front sensor."—Proc.SPIE, 1994, vol.2201, p.502 -507 reference. It consists of a compensator containing the deformable bimorph mirror based on the active bimorph piezo-electricity structure of having a control electrode of 13 in the forms of a main ring and the ring of the two same axles. Each is divided into six separate portions (J. P.Gigan."Adaptive Optics:Description of available components). [ -P.Gaffard, P.Jagourel, ] at Laserdot."—Proc.SPIE, 1994, vol.2201, p.688 -702 reference. It is combined with the mirror for wave-front inclination dynamic amendment.; beam split elements.; film abnormal-conditions mirror.; master oscillator, and one; input of this master-oscillator output, an output consists of the abnormal-conditions mirror signal amplifier and; image formation optical system which were combined with this abnormal-conditions mirror, and a single lens of;13 — each arrangement and the optical opening composition of this lens — this — so that the arrangement secondary opening focus of all arrangement and; corresponding to a deformable bimorph control array may be in agreement with the back. The optical radiation receptor which consists of an optical element combined with this focusing lens array and a single avalanche photodiode of;13, and each; combine with this lens array single secondary opening focus. It consists of an electronic amplification converter which is combined with this optical element by 1 side, and is combined with this radiation acceptance single photo-diode by the side else, and the input is combined with this compensator. Operation of the above-mentioned adaptive optics system is due to measurement of the local radius phase inclination on the wave-front boundary which has amendment of the following of this inclination in the wave-front local curvature and the bimorph mirror of a section of an optical beam. An additional mirror is used for the amendment of this wave-front common inclination based on corresponding measurement data. this abnormal-conditions film mirror forms the focal picture which separated from the pupil of two telescopes on a lens array —; — the first picture is formed when this abnormal-conditions mirror becomes depressed as much as possible —; — the second picture is formed when this mirror becomes depressed as much as possible. When there are no abnormal conditions, a plateau diaphragm mirror forms a telescope pupil picture correctly on a lens array. When phase distortion does not exist in an optical beam, this picture is the same, and when phase distortion exists, these pictures differ. Different picture signals outside a focus as a result differ to each of this photo-diode. The error signal of each control channel is a difference of the same radiation acceptance photo-diode signal corresponding to a different picture outside a focus. Amplitude error voltage is impressed to the electrode to which this bimorph mirror corresponds, and it amends this phase distortion of an optical system. Low amplitude and its low sensitivity (being the maximum, respectively +/- being 10 and the maximum 25-/KV) of the phase distortion to which the fault of the above-mentioned adaptive optics system was caused by the low amplitude of controllable modification of :1 bimorph mirror and which can be amended;

2) The system complexity in which it is manufactured so that single components may manufacture especially the arrangement of the high-voltage-control unit of 13 of a bimorph mirror (+/-400V), and a lens, and the 12 has the composition which takes the form of an annular area, and which is not standardized, and extraordinary complexity of this system brought about by high labor intensity;

3) a class predetermined with very many control electrodes — this — thing; which cannot increase phase correction accuracy from manufacture of an efficient bimorph mirror being impossible substantially by the increase in the amount of control channels  
 4) Low phase correction accuracy caused by the symmetrical dimension with low bimorph mirror single-control electrode and lens array single secondary opening;

5) The low permissible input light study radiation power level produced according to it being impossible to form the bimorph mirror which can cool a predetermined class (1 kW of outlines):

The adaptive optics system for amendment of the air phase distortion in a telescope is known (J. G.Barrick."Optical Designs of Adaptive Optics). [ S.Pazder, E.H.Richardson, ] Modules for Canada-France-Hawaii and Gemini Telescopes."—Proc.Of the ICO-16 Satellite Conference on Active. and Adaptive Optics, Aug.2-5-1993, Garching/Munich, Germany, F.Merkle ed., and ESO Conference and Workshop Proc ..48,p.59-64. And "PUEO" by R.Arsenault, D.Salmon, J.Kerr, etc. and The Canada-France-Hawaii Telescope Adaptive Optics Bonnette.I.System. Description."—Proc.SPIE, 1994, vol.2201, p.833 -842 reference, The main ellipse divided into another division of 6 and 12, respectively. And the form of two same mind ellipse rings. The wave-front inclination dynamic amendment mirror and modification bimorph mirror (C. "Laserdot components according to Boyer, P.Jagourel, J.P.Gaffard, etc.) based on active piezoelectric bimorph structure with a control electrode of 19 to take of the PUEO Adaptive Optics System." —Laserdot-Cilas and September 1995 — reference.; beam split elements.; abnormal-conditions film mirror.; master oscillator, and; — it being combined with one of these the master-oscillator outputs, and the input, The output consists of the abnormal-conditions mirror signal amplifier and; image formation optical system which are combined with this abnormal-conditions mirror, and a single lens of;19, each arrangement and the optical opening composition of this lens — this — so that the arrangement secondary opening focus of all arrangement and; corresponding to a deformable bimorph control array may be in agreement with the back. The optical radiation receptor which consists of an optical element combined with this focusing lens array and a single avalanche photodiode of;19, and each; combine with this lens array single secondary opening focus, and are

combined with this optical element by 1 side, The fiber optical cable combined with this radiation acceptance single photo-diode by the side else; the input is connected to this radiation receptor and a master-oscillator output, and the output consists of an electronic amplifier-converter connected to a compensator. In operation of this adaptive optics system, at least that of 19 in this system has a layer control channel instead of 13, and the 12 is similar to the above-mentioned system which differs in being used for wave-front circumference radius slope correction.

Low amplitude and its low sensitivity (the maximum mirror-controllable curvature radius is +/-34) of the phase distortion to which the fault of this adaptive optics system was caused by the low amplitude of controllable modification of :1 bimorph mirror and which can be amended

2) The necessity for the special mirror used for wave-front slope correction in the first place, Complexity in which this system by which it is brought by the system complexity which manufactures especially the lens array of 18 of that that has the composition in which single components take the high-voltage-control unit of 19 of a bimorph mirror (+/-400V) and the form of an annular area, and which is not standardized, and high labor intensity is [ second ] extraordinary;

3) a class predetermined with very many control electrodes -- this -- thing; which cannot increase phase correction accuracy from manufacture of an efficient bimorph mirror being impossible substantially by the increase in the amount of control channels

4) Low phase correction accuracy caused by the symmetrical dimension with low bimorph mirror single-control electrode and lens array single secondary opening;

5) The low permissible input light study radiation power level produced according to it being impossible to form the bimorph mirror which can cool a predetermined class (1 kW of outlines).

The conventional technology it will be [ conventional technology ] most adapted soon is known by the adaptive optics system and this invention which are used for amendment of the air phase distortion in a telescope, and it consists of compensators, The abnormal-conditions mirror signal amplifier with which a modification bimorph mirror, beam split elements, an abnormal-conditions film mirror, a master oscillator, and its input are combined with one of these the master-oscillator outputs as for it, and the output is combined with this abnormal-conditions mirror, An image formation optical system and the optical radiation receptor which consists of photo-diode arrangement, The input is combined with this radiation receptor and this master oscillator, The output consists of an electronic amplification converter combined with this compensator (for example, D.L.McKenna, "The University of Hawaii adaptive Optics system:111.The J.E.Graves). Refer to Wavefront Curvature Sensor."--Proc.SPIE, 1991, vol.1542, and p.262-272.

Operation of this adaptive optics system is similar to the above-mentioned system, when \*\*\*\* abnormal conditions exist in the picture outside a telescope pupil focus in this case, it is directly formed on this radiation receptor, but not being formed on this lens array differ. Low amplitude and its low sensitivity (being the maximum, respectively +/-being 10 and the maximum 25-/kV) of the phase distortion to which the fault of this adaptive optics system was caused by the low amplitude of controllable modification of :1 bimorph mirror and which can be amended;

2) Extraordinary complexity of the system which single components produce by the necessity of using the high-voltage-control unit (+/-400V) and the special wave-front slope correction mirror of 13 of a bimorph mirror;

3) a class predetermined with very many control electrodes -- this -- thing; which cannot increase phase correction accuracy from manufacture of an efficient bimorph mirror being impossible substantially by the increase in the amount of control channels

4) Low phase correction accuracy caused by the symmetrical dimension with low bimorph mirror single-control electrode and lens array single secondary opening;

5) The low permissible input light study radiation power level produced according to it being impossible to form the bimorph mirror which can cool a predetermined class (1 kW of outlines).

The technical result of summary this invention of this invention consists of expansion of the range and optical radiation phase-distortion correction accuracy improving simplification of the received power level and an application optical system.

This result is obtained by use of the proposed adaptive optics module, and this module A modification bimorph mirror, The abnormal-conditions mirror signal amplifier with which beam split elements, an abnormal-conditions film mirror, a master oscillator, and its input are combined with one of these the master-oscillator outputs, and the output is combined with this abnormal-conditions mirror, An image formation optical system and the optical radiation receptor which consists of photo-diode arrangement, The input is connected with this radiation receptor at this master-oscillator output, and the output is combined with a compensator, This compensator is made from the form of a dynamic alignment head provided in it, The deformable bimorph mirror made from the form of half-passivity bimorph structure consists of a hexagon mosaic system of a hexagon or the multilayer piezoelectric element of circular structure, This radiation receptor is made from the form of the arrangement of the hexagon of a photo-diode where circular or it has an opening of a hexagon, and this electronic amplifier-converter is made from the possibility of generating of a dynamic alignment head driving control signal.

In addition, this adaptive optics module can establish the arrangement of the hexagon of the lens which has an optical circular opening, and this arrangement is arranged in front of a radiation receptor.

Each of this radiation receptor photo-diode is arranged at the focus of the hexagonal array of the lens corresponding to an opening. This module can attach the fiber optical cable of a lot again, The each is combined with the single subopening of the hexagonal array of a lens by 1 side, The optical element combined with the hexagonal array of the lens by;1 side combined with the radiation receptor corresponding to a photo-diode by the side else can be provided, ; which is combined with the single fiber optical cable of a lot by the side else and whose focus of all the subopenings of the hexagon-head arrangement of a lens corresponds with the back of this optical element -- it being attached to a common case and, All the optical parts are arranged here including a radiation receptor, and this case consists of an input-and-output optical window, An input optical window is arranged in front of the deformable bimorph mirror in the way of the beam which carries out ingress there, it is reflected from there or an output optical window is arranged over the beam split elements in the way of the beam which passes through that, An input optical window is formed in the form of an object lens again, the incident light opening corresponds to the size of the transverse direction of the beam which carries out ingress to this module, and a condition is attached to the emitted light opening by a deformable bimorph mirror controllable light opening about the angle of inclination of the mirror by the beam which carries out ingress to it, this -- a deformable bimorph mirror is made from the form of the product which can be cooled. This electronic amplifier-converter is connected to the radiation receptor corresponding to a photo-diode in the input, The output is connected to the input of the synchronous detector which was able to provide the subtractor circuit, and one of inputs is connected to a master-oscillator output, A converter and a multiplier are connected to a deformable bimorph mirror multilayer piezoelectric element in series via the second amplifier connected to a dynamic alignment head actuator, and the converter to

which a digital/analog converter and its output were connected in parallel with mutual and a multiplier via the first amplifier, respectively.

Broadening of an optical radiation phase-distortion correction range, i.e., the increase in the distortion peak magnitude which can be amended, is attained by making a deformable bimorph mirror from the form of the half-passivity bimorph structure which consists of a mosaic system of a hexagon or the hexagon of the multilayer piezoelectric element of circular composition. In such a case, the displacement amplitude with the controllable optical surface of a mirror actually increases by use of the multilayer piezoelectric element in this half-passivity bimorph mirror, and the sensitivity of this mirror increases again, the effect of these both — the active bimorph mirror of conventional technology — even comparing — it is generated. When the one-channel multilayer bimorph mirror containing the multilayer piezoelectric element of 1 is used, the sensitivity whose modification of the reflecting surface in the maximum voltage 300V with which it is alike and the effect of these both is checked by the following numerical examples is an order (it is 10 at 400V to the mirror used by conventional technology) of 21 being 70-/kV (it is 25-/kV to the mirror used by conventional technology), and, A.G. Safronov, *Kvantovaya elektronika*, 1995, v.22, N 11, PP.1113–1117 reference. Besides the data of an account is average, they correspond to the upper surface of the bimorph mirror which has a molybdenum light reflector, and that optical opening is a little larger than the mirror used by conventional technology. The optical surface displacement of a deformable bimorph mirror increases by the adaptive optics module in which the distortion peak magnitude which can amend a wave front was proposed as compared with conventional technology, namely, broadening of an optical radiation phase-distortion correction range is attained. The feature to which it corresponds in such a case is that the half-passive bimorph structure of the deformable mirror in the proposed adaptive optics module consists of a multilayer element. In the conventional technology known and its analogous art, use of this feature is impossible. It is because a single multilayer piezoelectric element is realizable only by half-passivity bimorph structure. The improvement in optical radiation phase-distortion correction accuracy is attained by invention proposed by the possibility of the increase in the phase control of the amount of channels in this adaptive system. The remaining errors of amendment decrease, namely, case [ whose measurement and amendment of wave-front distortion are / like the bigger spatial frequency as a result which correction accuracy increases than conventional technology ], they are actually possible.

The feature to which it corresponds in the case of being such: Deformable half-passive bimorph structure consists of a hexagon mosaic system of a hexagon or the multilayer piezoelectric element of circular structure within this adaptation module, and; radiation receptor is made from circular or the form of the arrangement of the hexagon of a photo-diode where it has an optical opening of a hexagon.

The substantial increase in the number of phase control channels is impossible at the conventional technology known or especially its analogous art. Because, the deformable mirror based on the active bimorph structure which has much control electrode structures dramatically is a problem which cannot be determined actually [ because both acceptance of electric arrangement of a control electrode and the maintenance to them is impossible ].

The adaptive optics system of air phase-distortion amendment through a telescope is known from the level of conventional technology. This system the hexagon system of the control electrode of 19 or 37. It consists of a mirror which it has and in which half-passivation is possible (F. F. Forbes, N. Roddier, "Adaptive optics using Curvature sensing" — Proc. SPIE, 1991, vol. 1542, p. 140–147 reference). Although the known system is far apart from the proposed module, it consists of a piezoelectric board which has the control electrode provided in the outside surface without including this multilayer piezoelectric element in a deformable bimorph mirror. The efficiency of an operating characteristic and this mirror is dramatically low, this especially mirror has very low reflector displacement amplitude, and the adaptive optics system based on it known has a narrow phase correction range (wave-front distortion amplitude).

It is impossible again to increase substantially the quantity of the control channel of the system which in addition to the above was known because electric arrangement of 1 control electrode was impossible.;

2) Therefore the bimorph mirror used by the system known is complicated in order to have a low operating characteristic and to supply a actual optical system, and there is very high labor consumption in manufacture, practical realization of that is impossible.;

3) In the system known, the radiation receptor with which the prism and solid photo multiplier of a lot are used is distinguished from one to which it was substantially applied by this invention.

Actual realization and efficiency of this radiation receptor are dramatically low.

Therefore, the efficiency of the system known as the whole and the "usefulness" of that are dramatically low again. Therefore, only the combination of this characteristic is enabled to acquire expansion of the above-mentioned technical result, i.e., the range, and the increase in optical radiation phase-distortion correction accuracy based on the above.

It is because simplification of this adaptive optics system of this invention does not use a special mirror in order to amend dynamically 1 wave-front common inclination provided for the following Reasons and to replace this mirror with a dynamic alignment head. The characteristic of corresponding in this case has the deformable bimorph mirror in which compensator was formed there. It is made by the form of this dynamic alignment head made by the form of half-passive bimorph structure, and this electronic amplifier-converter is made so that it may have the possibility of generating of a dynamic alignment head driving control signal.;

2) Decrease this deformable bimorph mirror control voltage, and \*\* which has a low-voltage generator is because a complicated large mirror control high-tension unit is replaced. Reduction of deformable bimorph mirror control voltage is provided by use of the multilayer piezoelectric element in the design. What is necessary is just to impress substantial more little control voltage to a deformable bimorph mirror as compared with the conventional technology known to amendment of the phase distortion which has predetermined amplitude actually in such a case, and its analogous art. Therefore, this high-voltage-control unit is replaced without reduction of the efficiency of an adaptive optics module in a low-voltage unit. In such a case, as for the characteristic of corresponding, this deformable bimorph structure consists of a mosaic system of this hexagon of a multilayer piezoelectric element, use of the dynamic alignment head for simplification of an adaptive optics system — a Prior art — it is known from the level (A. — V. —) [ Ikramov and ] A.G. Refer to the 92010078th/of Russia patent 28 (055859) items of 07.12.1992, and Int.Cl.G02B 26/06, recognized on Safronov. "Optical adaptive module" and August 4, 1994. guaranteeing that only the combination of both above-mentioned characteristics obtains the result of the above-mentioned technology, i.e., OPUTO, — the simplification guaranteed substantially [ system / this / of this invention of both electronic parts / adaptive optics ] mechanical is enabled.

In addition, it needs to mind that use of the feature shown in the first two above (conventional technology, i.e., this compensator)

cannot be made from the form of a dynamic alignment head where it has a deformable bimorph mirror. It is for example, B-455.20 (or B-455.30) Gimbal Mount Mirror Holder with Piezoelectric Fine Adjustment (Catalogue.) at this purpose by any cases. The industrial standard of an alignment head like of Physik Instrumente(PI) GmbH is used by B-455 or B-455-30. The size of the whole substantial with this Reason and the weight of the deformable bimorph mirror were used by conventional technology (100 mm in diameter, 80 mm in length, weight of a 1-kg order). 60 to 70 mm :diameter by which these data is compared with the characteristic of an one multilayer half passivity bimorph mirror, and the similar characteristic as an example (it is not substantial and multi-channel half passivity bimorph mirror weight size parameters differ in mutual clearly), 13-mm(except for electronic connector) about 250g in weight in thickness (A. refer to G.Safronov, Kvantovaya elektronika, 1995, v.22, N 11, and pp.1113-1117) This deformable bimorph mirror that has the above-mentioned characteristic is especially installed ideally in this dynamic alignment head including installation of an above-mentioned product. Only in the case of the combination of the above-mentioned feature, as compared with conventional technology, the achievement as a result of this above-mentioned technology (namely, simplification of an adaptive optics system) is provided. That is, a compensator is made from the form of a dynamic alignment head where the deformable bimorph mirror which consists of a hexagon mosaic system of a multilayered piezoelectric element was formed there, and an electronic amplifier-converter is made from the possibility of generating a dynamic alignment head driving control signal.

The hexagonal array of the lens with which one feature of this invention has a circular light opening in front of this radiation receptor for the purpose of the increase in the sensitivity of an adaptive optics module is provided. The increase in adaptive optics module sensitivity is attained when based on reduction of all the radiation receptor photo-diode light openings as a result of the dark current and system internal noise reduction. Use of the lens array for the increase in sensitivity is carried out with the known analogous art. A single lens is used in these arrangement in spite of both cases. The lens constitution corresponding to a bimorph mirror simple electrode is not standardized. Therefore, manufacture of this lens and optical control are complicated, and require a labor. A possibility of replacing the optical lens which is not standardized with the usual circular lens brings about the further simplification of this adaptive optics module. In order that that this feature uses it on the whole may only acquire the increase in adaptive optics module sensitivity (that is, the arrangement of the hexagon of the lens which has a circular light opening by which a module is arranged in front of a radiation receptor can be established). this invention means — having (simplification of an adaptive optics system) — the substantial technical result for obtaining is brought about again.

In order to extend further the increase in the sensitivity of the proposed adaptive optics module, and reliability, and the functional potential of that, ; this module arranged at the hexagonal array of the lens corresponding to an opening focus in each of a radiation receptor photo-diode is offered with the fiber optical cable of a lot. It is combined with the single opening of the hexagonal array of a lens at one side, and the each is combined with the radiation receptor corresponding to a photo-diode by the side else.

This module is combined with a lens hexagonal array by the group of a fiber optical cable by the side else at one side again, and the focus of all the lens hexagon secondary openings is in agreement at the back of this optical element. This module is provided in a common case and all the optical elements are arranged here including this radiation receptor. This case consists of an input-and-output optical window, an input optical window is arranged in front of the deformable bimorph mirror in the way of the beam which carries out ingress there, it is reflected from there or an output optical window is arranged over the beam split elements in the way of the beam which passes through that. An input optical window is formed in the form of an object lens again, the incident light opening corresponds to the size of the transverse direction of the beam which carries out ingress to this module, and a condition is attached to the emitted light opening by a deformable bimorph mirror controllable light opening about the angle of inclination of the mirror by the beam which carries out ingress to it. This electronic amplifier-converter is connected to the radiation receptor corresponding to a photo-diode in the input. The output is connected to the input of the synchronous detector which was able to provide the subtractor circuit, and one of inputs is connected to a master-oscillator output. A converter and a multiplier are connected to a deformable bimorph mirror multilayer piezoelectric element in series via the second amplifier connected to a dynamic alignment head actuator, and the converter to which a digital/analog converter and its output were connected in parallel with mutual and a multiplier via the first amplifier, respectively.

above — one of the adaptive optics module attributes of this invention — the purpose of the increase in an input light study radiation acceptance power level — this — a deformable bimorph mirror is made from the form of the product which can be cooled. It is necessary to mind that use of this feature is impossible (that is, achievement of increase in this technical result—input light study radiation acceptance power level — be impossible) in the conventional technology known and its analogous art. It is because it is impossible to realize a reflector cooling system in this bimorph deformable mirror based on active bimorph structure. Therefore, it guarantees obtaining the combination (this deformable bimorph mirror is simultaneously made from half-passivity bimorph structure and the form of the product which can be cooled) of the above-mentioned feature, and the result of the above-mentioned technology.

The easy explanatory view 1 of Drawings shows the outline of an adaptive optics module including the possible embodiment of the case.

A dynamic alignment head design is roughly shown in drawing 2, in order to explain the principle of the operation.

When five piezoelectric boards (piezoelectric layer) are used for drawing 3 with each multilayer piezoelectric element, the section of the outline of a deformable bimorph mirror based on half-passivity bimorph structure is shown.

A piezoelectric element has the composition of a hexagon in drawing 4, and the figure which looked at the deformable bimorph mirror from the multilayer piezoelectric element side in case the number is 19 is shown.

A radiation receptor in case a radiation receptor is the arrangement which consists of a photo-diode of 19 which has an optical opening of a hexagon is shown in drawing 5.

The block diagram of an electronic amplifier-converter is shown in drawing 6.

The portion of adaptive optics modular design in case the arrangement of the lens which has a circular light opening is used for drawing 7 is shown.

It has composition with a circular lens in drawing 8, and a case when the common number is equal to 19 is shown.

The portion of adaptive optics modular design in case the fiber optical cable of an adaptive optics element and a lot is used for drawing 9 beyond a lens array is shown.

An adaptive optics module consists of the alignment head 1 which has the deformable bimorph mirror 2 formed in it, the beam split elements 3, the abnormal-conditions mirror 4, the radiation receptor 5, the master oscillator 6, the abnormal-conditions mirror signal amplifier 7, and the electronic amplifier-converter 8 in the explanatory view 1 of the optimal embodiment. In addition, this adaptive optics module consists of the case 9 which contains input 10 and output 11 optical window selectively by drawing 1.

This dynamic alignment head consists of the fixed base 12, the two base materials 13 and 16, the two piezoelectric drivers 14 and 17, and movable frames 18 by drawing 2, drawing 3 and drawing 4 — referring to it — this — a deformable bimorph mirror consists of the case 19, the light reflector 20, the multilayer piezoelectric element 21, the connecting electrical wire 22, and the electrical connector 23. This radiation receptor consists of the photo-diode 24 by drawing 5. This electric amplifier-converter consists of the preamplifier 25, a synchronous detector and the subtractor circuit 26, the control-line sequence multiplier 27, the digital/analog converter 28, the output amplifier 29, and the converter 30 by drawing 6. This adaptive optics module consists of arrangement of the lens 31 selectively by drawing 7, and this lens has the circular light opening 32 by drawing 8, and consists of the optical element 33 and the fiber optical cable 34 of a lot by drawing 9. This piezoelectric drive is this a part of dynamic alignment head design, and an arrow shows it to drawing 1. The direction of propagation of the optical beam between an optical part and the direction of the electrical signal way between electric apparatus is shown to drawing 7 by the corresponding arrows 7 and 9. The diametrically opposite position of the abnormal-conditions mirror optical surface 4 is shown to drawing 1, and 7 and 9 by the dotted line. An axis of coordinates vertical to mutual [ two ] is shown to drawing 2 by the signs X and Y. It is shown that the sign near the signal-unit communication line of drawing 6 "N" and "2" have an input/output channel of some [ equipment / corresponding ].

This adaptive optics module operates as follows.

input light study radiation (beam) — this (with drawing 1) — it acting to the deformable bimorph mirror 2 as Irikita, and, It is attached in this dynamic alignment head 1, it acts as Irikita to this beam divider element 3 further, the small portion of this radiation is conveyed in acceptance optical channels (namely, this abnormal-conditions mirror 4) from there, and ingress of the main beam is carried out to a module output. It acts to this radiation receptor 5 as Irikita of the optical radiation reflected from this abnormal-conditions mirror 4, and an electrical signal is impressed from this receptor to this electric converter 8. an initial state — this — the optical composition of the deformable bimorph mirror 1 and this abnormal-conditions mirror 4 being a flat surface, and, All the module OPUTO mechanical elements (1, 2, 3, 4, 5) including an image formation optical system (not shown) align so that the actual focal image of either the radiation source or an observing object may be formed on this radiation receptor. The optical beam which has a flat wave front by one side of initial alignment of a module optical circuit is used. the angle of the optical beam which enters into this optical element is shown like before — a required method — each — when special, it is changed and gets.

For example, when an electrical signal like a sine wave signal acts to this abnormal-conditions mirror 4 as Irikita by an initial state from this master oscillator 6 via this amplifier 7, the latter changes the curvature. The picture outside [ focus ] two is formed on this radiation receptor 5 at a certain moment corresponding to the deflection of the two maximum serious tone mirrors with an opposite mark (see drawing 1). When the input light study beam which has a flat wave front carries out ingress of the picture outside these foci, it is the same at an initial state. It is impressed by the input of the amplifier-converter 8, and each signal is amplified by this preamplifier 25 in the first place here (see drawing 6), and the electrical signal (see drawing 5) from each radiation receptor photo-diode 24 is impressed to a synchronous detector and the subtractor circuit 26. The number of channels of this synchronous detector 26 that has this preamplifier 25 and this subtractor circuit (see drawing 6) is equivalent to the quantity of this receptor radiation photo-diode 24 (see drawing 5):

It is shown in drawing 6 by the sign near the communication line of the unit in which it corresponds "N." Two signals are detected within each channel of this synchronous detector 26 (see drawing 6).

The each is [ the moment, i.e., when a focal picture is formed on the radiation receptor 5 outside two, of corresponding to the position at the very end of / two / an optical surface ] this radiation receptor 5 (see drawing 1).

It is proportional to the optical radiant intensity on the photo-diode 24 (see drawing 6) which \*\*\*\*\*.

An electrical signal is impressed to this synchronous detector 26 (see drawing 6) from this master oscillator 6 (see drawing 1) for this purpose. the electrical signal in the output of each channel of this subtractor circuit 26 (see drawing 6) — this — it differs from both signals. While having a wave front with a flat input light study beam, because the picture outside a focus formed by the initial state is the same, the electrical signal in the output of all the channels of this synchronous detector and this subtractor circuit 26 is equal to zero in this case. The input of all the electrical signals in an electric amplifier-converter input (see drawing 6) and the dynamic alignment head 1 and the deformable bimorph mirror 2 is equal to zero as a result, in addition, the composition of a mirror is flat, and, in early stages, an outputted ray study beam has a flat wave front. When wave-front distortion exists in an input light study beam, the pictures outside a focus formed on the radiation receptor 5 (see drawing 1) the moment corresponding to the position at the very end of [ two ] an abnormal-conditions mirror reflector differ. This synchronous detector and the output power signal in each channel of the subtraction circuit 26 (see drawing 6) are except zero as a result.

The corresponding difference signal in the input of such each channel to the inside photo-diode 24 (see drawing 5) of the radiation receptor 5 (see drawing 1) The local curvature of an optical beam wave front (it is inversely proportional to a curvature radius), That is, it is proportional to the wave-front curvature within restriction of the single subopening (sensitivity pad of the single photo-diode 24) of the single photo-diode 24 of the radiation receptor 5. As opposed to the circumference photo-diode 24 (see drawing 5) of the radiation receptor 5 (see drawing 1). A synchronous detector and the difference circuit 26 (drawing 6). The corresponding difference signal in the input of such each channel of reference is proportional to the local inclination of an input light study beam wave front (F. a new). [ Roddier."Curvature sensing and compensation, ] concept in adaptive optics."—Appl.Opt., 1988, v.27, 7, p.1223–1225 reference. The conditions of these both are attained by attaching a condition to the size of this optical beam that carries out ingress from a radiation receptor and it across boundaries. An electrical signal is impressed to the multiplier unit 27 from a synchronous detector and a subtractor output (see drawing 6), and this generates the control signal of the deformable bimorph 2 (drawing 1) by execution of multiplex multiplier operation. :  $V=CxU$  (1)

Here A synchronous detector and U vector of the output signal of the subtractor output (see drawing 6) 26, Namely, each element  $U_i$  of the vector U corresponds to the output voltage of a signal channel, and is equal to  $N$ , [ of the degree of the; vector U ] namely,; equal to the quantity (see the single photo-diode 24 and drawing 5) of the single opening of the radiation receptor 5 (see drawing 1) — C control-line sequence dimension is  $N \times N$  in this case —; — the matrix C being a diagonal matrix and, in being the easiest, V vector of the output signal of the; control unit 27 determined by experiment in the preparatory step of the adaptation configuration of module using the source of reference from which that element differs (see drawing 6): Each element  $V_i$  of the vector V is equal to the number of the control channels of the deformable bimorph mirror 2 (in this case,  $N$ ).

This digital one / analog 28 (refer to drawing 6), and this output amplifier 29 change the output signal of the multiplier unit 27 into control voltage, and it The case 19 (see drawing 3 and 4), it consists of a hexagon mosaic system of the multilayer piezoelectric element 21 of the half-passivity bimorph structure formed by the light reflector 20, and a hexagon or circular structure — this — it is impressed by the deformable bimorph mirror 2 (see drawing 1) (the multilayer piezoelectric element of the composition of a

hexagon is shown in drawing 4). Electric control voltage is impressed to a multilayer piezoelectric element via the electrical connector 23 and the connecting wires 22 (see drawing 3). Voltage is impressed to each piezoelectric layer (or piezoelectric board) of each multilayer piezoelectric element by internal connection, and it is theoretically important in order to obtain the above-mentioned technical result. When voltage is impressed to a multilayer piezoelectric element, they are transformed by the inverse piezoelectric effect, and it causes modification (bending) of a deformable bimorph mirror reflector as a result of [ its ] corresponding local half passivity bimorph structure.

When the control voltage  $V$  is impressed in the case of being the easiest (the center is in agreement with the center of a mirror in existence of the only control electrode of circular composition or the only multilayer piezoelectric element), alike — a half — passivization — possible — a bimorph mirror reflector — : expressed by the formula of the following [ composition / of  $W(r)$  ] (within restriction of a control electrode or a piezoelectric element)  $W(r) = -K(r/r_o)2V$  and  $0 < r < r_o$  (3)

The radius of an  $r_0$  control electrode (multilayer piezoelectric element) and  $K$  are mirror amplitude sensitivity here. this — an analytical formula (2) is indicated in the following document :P .Jagourel, P.-Y.Madec, and M.Sechaud."Adaptive Optics: A bimorph mirror for wavefront. correction."—Proc.SPIE, 1990,vol.1237,p.394-405;the experimental verification—in the work A.G.Safronov,Kvantovaya elektronik As opposed to the deformable mirror which a, 1995, v.22, N 11, and a pp.1113. type (2) do not take the hysteresis effect of a piezoelectric ceramic into calculation, but has the initial plane constitution of the reflector. It is clear and it is : $R_{cr}=r_0^2/2kV$  (3) that a formula (2) expresses the rotation parabola which has the curvature radius  $R_{cr}$  in a tip.

This is inversely proportional to this control voltage  $V$ . Between the deformable bimorph mirror reflector curvature proportional to the difference signal and control voltage of the corresponding photo-diode proportional to the curvature of the wave front which changed thus when [ of the multilayer piezoelectric element of circular composition ] the easiest. There is correspondence of the couple 1 (in this case, a different signal is removed from a radiation acceptance photo-diode, and that arrangement and size correspond to a bimorph mirror multilayer piezoelectric element). Therefore, when are taken into consideration and the control voltage of the intensity proportional to the difference signal of a photo-diode is impressed, modification of the bimorph mirror which has one central piezoelectric element produces the wave-front curvature correction in an input (it \*\*\*ed) optical beam. When [ in the proposed adaptive optics module / easiest ] it thinks, it corresponds to the main multilayer piezoelectric element (see drawing 4) and this radiation receptor (see drawing 5) of a deformable bimorph mirror. In the case of the hexagon composition of a piezoelectric element, and a radiation receptor secondary opening, in addition, the Reason illustrated [ above-mentioned ] is effective. It is because the difference of the field of a hexagon and the circular field inscribed in in this hexagon is not remarkable.

When generated in modification of an element to the multilayer piezoelectric element 21 shown in drawing 4, the composition of a bimorph mirror reflector differs from a formula (2) even to a case when this piezoelectric element is circular. It is caused by displacement of the piezoelectric element to the end of a mirror. It does not almost make this difference in spite of within restriction of the innermost multilayer piezoelectric element. Bimorph mirror reflector curvature is proportional to the control voltage impressed to this element within restriction of this piezoelectric element (for example, to a bimorph mirror, it consists of a monolithic piezoelectric board and a compartmented control electrode, and). :A.V.Ikramov proved from it being indicated in document shown below, I.M.Rostchupkin, A.G.Safronov, Kvantovaya elektronika, 1994, v.21, and N. When the control voltage proportional to the difference signal from the photo-diode 24 (see drawing 5) with which 7 and a pp.665-669 radiation receptor correspond is impressed to the internal piezoelectric element 21 (see drawing 3 and 4), therefore, amendment of the local curvature of the wave front by which the input light study beam was \*\*\*ed is carried out.

When the opening of the whole occupied with the internal multilayer piezoelectric element 21 (see drawing 4) is found out in an input light study beam cross section, in addition, the last Reason is permitted. This is related also with the opening of the whole occupied by the photo-diode 24 (see drawing 5) inside a radiation receptor again.

The single multilayer piezoelectric element 21 (see drawing 4) of a bimorph mirror and the single opening 24 (photo-diode) (see drawing 5) of a radiation receptor have circular composition (not shown in drawing 4 and 5). In this case, it is brought by it being equal to the curvature of drawing 4 and this response breadth in ken in the possible angular orientation where bigger symmetry than that of a single multilayer piezo-electricity response function differs as compared with the composition of a hexagon as shown in 5. Correspondence is acquired with bigger symmetry from that between the actual local curvature (a corresponding photo-diode difference signal is proportional to this curvature) in an input light study beam distorted wave side, and the controllable local curvature of a deformable bimorph mirror reflector, and it brings about eventually the increase in the existing phase-distortion correction accuracy. The hexagon composition of the piezoelectric element 21 (refer to drawing 4) and the photo-diode 24 (refer to drawing 5) provides the closest packing within restriction of an optical opening. When equal to big (it is not clear) reflector modification amplitude, occupancy more high-density than that of the optical opening by a piezoelectric element is provided rather than other things are proportional to a piezo-electric field (see the formula (2)).

The bimorph mirror reflecting surface composition in an optical opening zone to the multilayer piezoelectric element 21 of the circumference shown in drawing 4 under modification of this element, It corresponds to a local circumference inclination, Namely, when control voltage is impressed to the surrounding piezoelectric element 21. The reflecting surface 20 (drawing 3) of deformable bimorph it is in the zone corresponding to a reference light opening — a grade inclination is carried out (A.

Kvantovaya) [ V.Ikramov, S.V.Romanov, I.M.Rostchupkin, A.G.Safronov A.O.Sulimov, ] Refer to elektronika, 1992, V.19, N 2, and pp.180-183. Strict enforcement of these conditions enters into arrangement of this bimorph mirror and the circumference multilayer piezoelectric element 21 (see drawing 3 and 4), and is attained by the conditioning of the lateral direction dimension of an optical beam, "PUEO" by :R.Arsenault by which the following paper is shown the characteristic example over the zone electrode of a monolithic piezoelectric board, D.Salmon, J.Kerr, etc., and The Canada-France-Hawaii Telescope. Adaptive Optics Bonnette.1 "System Description" —Proc.SPIE, 1994, and vol.2201 p.832-842 — thus. The one to one correspondence between the difference signals of the circumference photo-diode 24 (see drawing 5) with a radiation receptor exists. This is proportional to the perverted wave-front position in the zone where the incident light beam section of one side corresponds, and the deformable bimorph mirror reflector local inclination in the zone corresponding to an optical opening is proportional to the control voltage impressed to the corresponding circumference multilayer piezoelectric element of the side else. Therefore, when the control voltage proportional to the difference signal from the circumference photo-diode 24 (see drawing 5) with which a radiation receptor corresponds is impressed to the circumference piezoelectric element 21 (see drawing 3 and 4), the local end inclination (circumference) of a wave front where the incident light beam was distorted is generated. In addition to the indicated phase correction in the proposed adaptive optics module, the common inclination of a wave front can be amended by use of the dynamic alignment head 1 (see drawing 1). It is realized as follows. A difference electronic signal is impressed to the converter 30

from a synchronous detector and the subtractor circuit 26 (refer to drawing 6), and this generates a control signal with the two piezoelectric drivers 14 and 17 (see drawing 2) of the dynamic alignment head 1 (see drawing 1). When the easiest, this piezoelectric drive control signal is generated by the unitization (correctly the difference signal) of all the circumference photo-diodes 24 of four another groups, and each of the arrangement corresponds to one of the four directions of the axes X and Y vertical to mutual [ which are shown in drawing 2 / two ]. The sum of each different signal of all of this group is formed, it brings about generating of four single signals, and the each corresponds to one of the four directions of the axes X and Y vertical to mutual [ two ]. (It is also possible to only choose four different signals of the four single circumference photo-diodes 24 instead of this sum signal.) The mutual difference of the signal corresponding to the direction which the one axes X and Y counter from it is formed. It is clear that each signal's which used the appearance and was formed it is proportional to the input light study beam wave front in alignment with a corresponding axis. All the above-mentioned operations are performed by this converter 30 (see drawing 6), and the signal which acted as a late-coming student is amplified with this amplifier 29, and is supplied to the drivers 14 and 17 (see drawing 2) in which a dynamic alignment head (see drawing 1) corresponds.

Corresponding connection of the piezoelectric drive machines 14 and 17 and the base materials 13 and 16 (see drawing 2 with the movable base 15 and the frame 18) are formed in the form of a hinge, It provides inclination of the movable frame 18 in alignment with the axes X and Y vertical to mutual [ two ], when displacement of the corresponding piezoelectric drivers 14 and 17 occurs. The deformable bimorph mirror 2 is fixed to the movable frame 18 of the dynamic alignment head 1 (refer to drawing 1). When control voltage is impressed to these piezoelectric drivers 14 and 17 (refer to drawing 2) from the amplifier input 29 (refer to drawing 6) by rotation of the deformable bimorph mirror 1 (drawing 1), amendment of the common inclination of an input light study beam distorted wave side is made in accordance with two axes. The diagram of operation is shown in drawing 2 instead of the above-mentioned special dynamic alignment head, and the standardized manufacture sample is used (an example is shown above). In addition, use of the piezoelectric-control driver in this dynamic alignment head is arbitrary again. Other drivers like throats, such as electric restriction and an electromagnetic drive, are theoretically usable to instead of [ those ]. When the dynamic phase distortion by which the time jitter was carried out occurs, operation of this adaptive optics module For example, amendment of wave-front local curvature, The local circumference inclination of that and the common inclination in each this corresponding channel are successive processes, and the purpose is similar to the above except for the difference that they are improvement in optical system quality (a picture improvement, a dynamic focus, etc.).

It can check that the proposed adaptive optics module makes effective amendment of optical radiation phase distortion based on the above. All the combination of this characteristic of having the simultaneous increase in a substantial range expansion and its received power level by the design indicated about the consideration made as mentioned above. The increase in optical radiation phase-distortion correction accuracy is brought about by enabling the simplification of this adaptive optics system, i.e., this combination of all the features, to obtain this technical result.

It is appropriate to make a certain cautions about the adjustment and the optimization of equipment which were proposed. In the first place, as while was repeated as for the account of the upper, the linearity between the radiation acceptance signals in a side and the control action in the side of the deformable bimorph mirror 2 and the dynamic alignment head 1 else are attained by experiential selection of the gain coefficient of the amplifiers 25 and 298 in the channel by which the electronic amplifier-converter 8 corresponds. System time convergence can be decreased by adding a non-diagonal element to the further increase and the procession C (formula 1) of the accuracy of the phase-distortion amendment to the second. This non-diagonal element of the procession C is determined in a tentative way by the adaptive optics configuration of module using a different reference source.

Existence of one or more features which exist in the proposed adaptive optics module which was compared with the conventional technology which brings about the increase in optical radiation phase correction accuracy, and its known prototype is required again. The deformable bimorph mirror which has a control electrode which starts with both above by conventional technology and its prototype, and takes the form of a cyclic division is used. Therefore, the sizes of that in different angular orientation differ. Therefore, when control voltage is impressed to the local curvature of such this mirror, reflectors (namely, inside of restriction of an electrode) differ to a different direction. It is a formula (3).

\*\* et al. -- especially, it is clear and a reflector local curvature radius is proportional to square [ of the electrode radius  $r_0$  ] here. :A.V.Ikamov the clear result which receives a control electrode if calculation is more exact is indicated to be in the following papers, I.M.Rostchupkin, A.G.Safronov, Kvantovaya elektronika, 1994, v.21, N 7, pp.665-669

The section of the electrode response function with which one of the results in this paper was compartmented is an ellipse, it means the local curvature from which a bimorph mirror reflector (inside of restriction of an electrode) differs towards differing if it says strictly, and it is equivalent to the local curvature which differs in the radiation wave side reflected in the direction from which it differs shortly from this mirror and which can be amended. A local curvature radius differs in the local curvature of the wave front measured by the radiation receptor within restriction of a single subopening on the other hand from other directions substantially [ a certain / not the selected angular orientation but here ]. One of the Reasons shown as an example is the incidence phase-distortion characteristic in an input light study beam. In addition, the wave-front local curvature in the input light study beam within restriction of the single opening of this radiation receptor differs in the two spatial directions, respectively, and this subopening has a substantially different geometric-like size here (by conventional technology, to the division secondary opening of this radiation receptor, this direction corresponds radially and). It corresponds in the direction vertical to it.

It is out of balance between the local curvature in which the amendment within restriction of the control electrode in which the deformable bimorph mirror caused by the low order of the space symmetry of the wave-front local curvature measured in the known analogous art and conventional technology by the actual condition within restriction of the single secondary opening of a radiation receptor and a mirror control electrode corresponds is possible. This imbalance produces the increase in a phase-distortion amendment residuum in reduction of the known analogous art, conventional technology, and correction accuracy.

It separates from the analogous art and conventional technology which were known for the proposed adaptive optics module, and the composition of a single multilayer piezoelectric element is a circle or a hexagon. The equivalence (or almost equal thing) of the size of this piezoelectric element is brought about in angular orientation which is different as compared with control electrode compartmentation composition in any case of the analogous art and conventional technology which were known by that cause. By the proposed module, a single piezo-electricity response function is the same (or almost the same) to the angular orientation where the radii of the front surface mirror local curvature within restriction of the piezoelectric element which has bigger symmetry, namely, corresponds differ. The perfect (or it is almost perfect) correspondence between the local curvature calculated as a result and the amended local curvature is acquired. Therefore, the increase in the optical radiation phase-

distortion correction accuracy increased within the adaptive optics module proposed by that cause is acquired. In this case, as for the feature to which proposed invention corresponds, the multilayer piezoelectric element of the half-passivity bimorph structure of this deformable bimorph mirror has a hexagon or circular composition. A hexagon mosaic system is constituted, and this radiation receptor is made so that the form of the arrangement of the hexagon of a photo-diode where circular or it has an optical opening of a hexagon may be taken. The Reason shown as mentioned above is completely right about being known from the adaptive optics system of the level of the conventional technology of amendment of the air phase distortion in the telescope which consists of a bimorph mirror which has a hexagon system of the control electrode (refer to page) of 19 or 37 in this case, and in which half-passive deformation is possible. It is desirable. It makes it possible whether broadening of the range was thus guaranteed to the second of optical radiation phase-distortion correction accuracy at a result only with substantially technical combination of all the characteristics according to claim 1, i.e., the first, and to acquire the becoming increase.

Use of the additional arrangement of the lens 31 in the proposed accommodative optical module is shown in drawing 7, and a design and arrangement of the single secondary opening 32 are shown in drawing 8. In this case, although operation of an adaptive optics module corresponds to what was shown [ above-mentioned ], and the two maximum, it is similar to the difference of the picture outside a focus of both with a reverse mark, and a bend of the abnormal-conditions mirror 4 (see drawing 7) is formed on the arrangement of the lens 31 rather than is direct on the radiation receptor 5. Each subopening 32 (see drawing 8) of this arrangement turns optical radiation to the photo-diode 24 (see drawing 5) with which a radiation receptor (see drawing 7) corresponds (this radiation is focused). The operation of the proposed this module which contains the precision of all above in respect of [ all the ] others is equivalent to the description shown [ above-mentioned ]. About the above-mentioned consideration, this feature combines the described this design, and it is alike, and namely, The increase in the adaptive optics module sensitivity which this module is provided by the hexagonal array of the lens which has an optical circular opening arranged in front of a radiation receptor, namely, can obtain the above-mentioned technical result, and simplification of the further (it is additional to Claim 1) adaptive optics system are provided.

The photo-diode 24 (see drawing 5) with which the radiation receptor 5 (see drawing 7) corresponds

It is arranged at the focus of the subopening 32 (see drawing 8) to which the hexagonal array (see the position 31 of drawing 7) of a \*\* lens corresponds. That case is exactly shown in drawing 7. In addition, it makes it possible to use the single photo-diode which has an avalanche type dot secondary opening (susceptibility pad) in this case.

Use of the group of the fiber optical cable 34 is shown to drawing 9 by the proposed adaptive optics module. In this case, this module is provided with the optical element 33, and is combined with the hexagonal array of a lens at one side. The focus of length of focus power and this optical element 33 of all the subopenings of a lens hexagonal array corresponds with the back of that shown in drawing 9. It is combined with lens hexagonal array single openings through this optical element 33 by one side (to the focus [ If it says correctly ]). It acts to the present subopening of a lens array as Irkita of each fiber optical cable 34 combined with the photo-diode with which this radiation receptor 5 corresponds by the side else, and transmission of the optical radiation to a corresponding receptor photo-diode is provided. The operation of the proposed this module which contains all the above-mentioned precision in respect of [ all the ] others is equivalent to the description shown [ above-mentioned ].

Arrival or extraction of each fiber optical cable 34 (or it is from it) optical radiation is carried out by the tilted light study element (gradans) which is not illustrated. In addition, the single photo-diode of this radiation receptor 5 is arranged not in the form of the above-mentioned hexagonal array but in random order.

Use of the case 9 which has input [ of this module ] 10 and output 11 optical window is shown in drawing 1. In this case, input light study radiation (beam) passes this input optical window 10 in the common case 9 of this adaptive optics module. Within this case, all the optical elements containing the radiation receptor 5 are arranged. An output (amended) optical beam is extracted from the output optical window 11 outside. This window is arranged in [ both ] the way of the beam which passes this element (not shown in drawing 1) in the way of the beam reflected from the beam split elements 3 (shown in drawing 1). In the case of the last, arrangement of the abnormal-conditions mirror 4 changes again. Operation of the proposed this module which contains all the above-mentioned precision at other points of all the is equivalent to the description shown [ above-mentioned ].

In this case, an input optical window is made by the form of an object lens, that input light opening corresponds to the size of the transverse direction of the beam which carries out ingress to this module, and a condition is attached to the outputted ray opening of that by the controllable optical opening of a deformable mirror about the angle of gradient of this mirror about the beam which enters there. This difference in the proposed adaptive optics module provides a substantial expansion of the functional potential performance of that. The module actually proposed in such a case is saved with the group of a different accessories head, and the each provides the conditions of this module of having an external optical system. A similar optical head is used instead of this output optical window 11 again, and it is not illustrated. It is made from the form of the product which can cool the input light study radiation level power which increases the deformable bimorph mirror 2 (see drawing 1) in the proposed adaptive optics module. This kind of this invention is not shown in a figure. In such a case, operation of the proposed module in which grade contains all the above-mentioned precision is equivalent to description shown [ above-mentioned ]. the indicated this design increases with the combination of this feature about the consideration which was drawn as for the account of the upper -- namely, -- this -- a deformable bimorph mirror is made from the form of half-passivity bimorph structure, and the product which can be cooled, i.e., the power level by which the input light study radiation which can obtain the above-mentioned technical result has been received, is provided simultaneously.

And the application adaptive optics module in industry can be realized by use of the known material and production operation. [ standard ] [ industry ] The main part of the proposed adaptive optics module is a standard or an experimental industrial product, or these parts are indicated to other the same inventor's patents. For example, it compares with the system of the present age of amendment of optical (laser) radiation wave side distortion like the one industrial adaptive optics system of Diehl GmbH&Co., of a German country used in a laser industrial complex. 1. which has an advantage of the following [ module / which was proposed / adaptive optics ] (the difference of the number of channels is disregarded) -- the simplicity of the design and this are provided by the minimum group of the very easy optics for a degree, and electronic parts.

2. It is realization of all the optical systems within the common case which takes the form of the automated optoelectronics device. Such a feature makes it possible to use this equipment as accessories (module) with laser system, in order to improve the feature. For example, a stock with this module is possible for laser for industrial use, a state arrangement of an optical opening is made by a corresponding collimator, and this is provided instead of a head being an input window as accessories. This equipment is similarly used with other laser system.

3. It does not interfere in a circuit and laser, or an optical system, but phase distortion is amended here. This strong point is

dramatically important. For example, it is because it develops within a product like the product of the laser which has an adaptation resonator and complexity exists by putting in. In the case of the latter, a laser circuit and the problem of optimization of a design must be determined. Nevertheless, the development and manufacture of absolutely new laser, as for, the following results have all are a problem. When the proposed adaptive optics module is used, all these problems are not produced any longer. There is a similar situation in other classes of laser or an optical system.

4. Flexibility of this adaptive optics module to the optical system of a different class containing laser system. As specific equipment, this adaptive optics module is combined with a different system to the design objective, and is used. The same module operates with laser for industrial use with an interferometer and a laser radiation detection system. The group of an accessories head used in order to attach a condition to an optical opening can extend the potential of a specific module substantially.

5. This adaptive optics module about different laser or optical system of spectral range, and flexibility of design. When laser or optical radiation wavelength changes, in addition, the modular circuit is eternal, and in such a case, the material (outer window and beam divider element);3 radiation receptor of a reflective coating;2 transmitted-light study system of :1 mirror element only changes. However, in addition, the design parameter of the above-mentioned parts is eternal.

6. Enable any change of the circuit in an adaptive optics module, structure, and technology to increase the number of channels as much as possible to the accuracy of phase correction, and the further increase in efficiency nothing.

7. Use and realization of an adaptive optics module can decrease the demand to the quality of optics and laser system. For example, with laser for industrial use and other laser system, \*\*, such as endurance, design stability, active medium purity, etc. to an optical element irregular sequence, decrease similar, and it deals in them. Such environment influences substantially the cost of this system by which the price decreases unquestionably. In addition, the field of application of the laser which cannot find out being widely used with the low characteristic, and an optical system becomes broad. It is because this characteristic improves by laser adaptation module use.

This invention may be used with any optical systems to the implementation of optical beam phase-distortion dynamic amendment which has high degree of accuracy like the air telescope for the purposes which improves for example, remote light source imaging quality (it is (for example, like amendment of an earth destabilizing effect)).

---

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and INPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

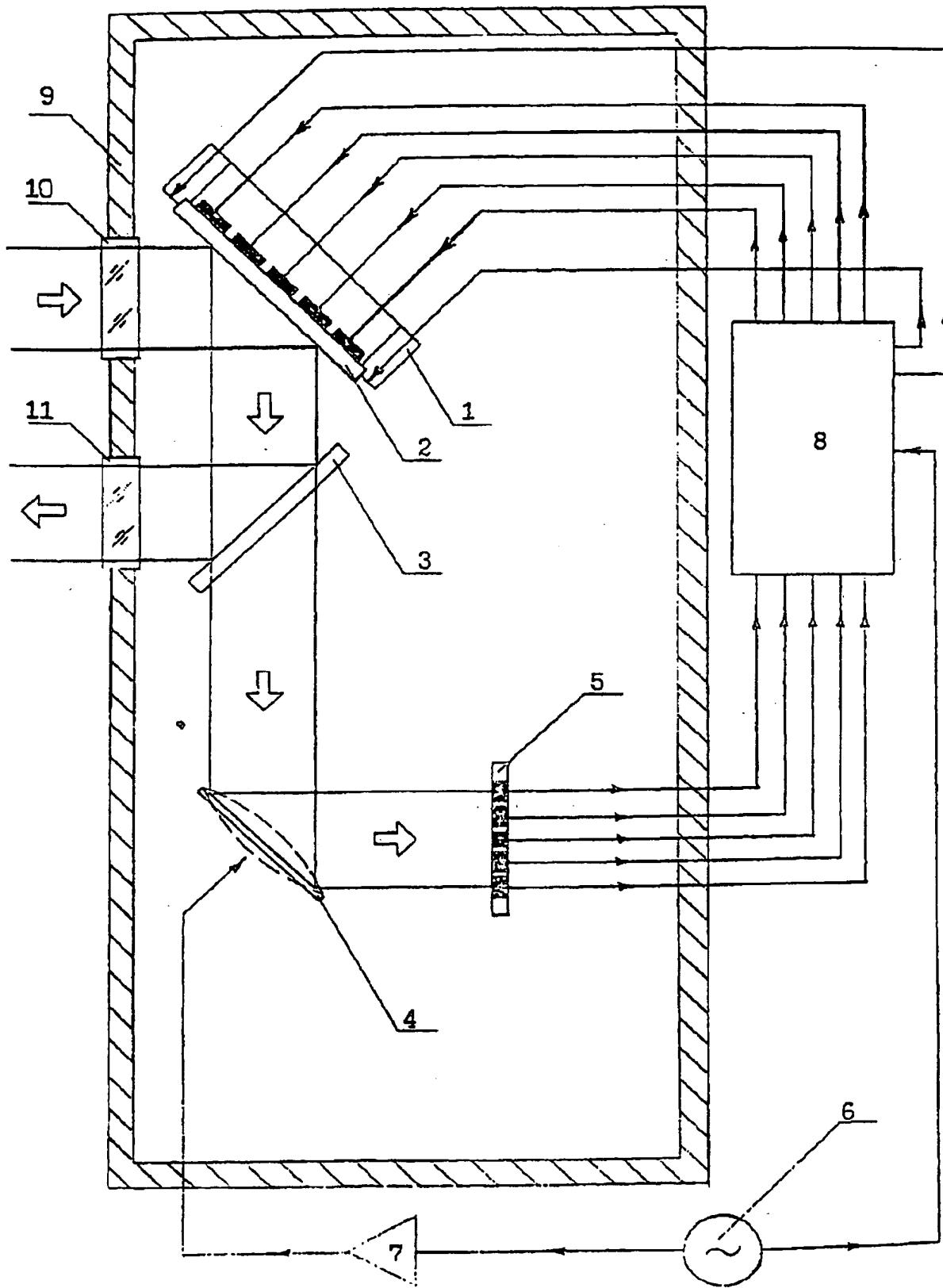
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

**DRAWINGS**

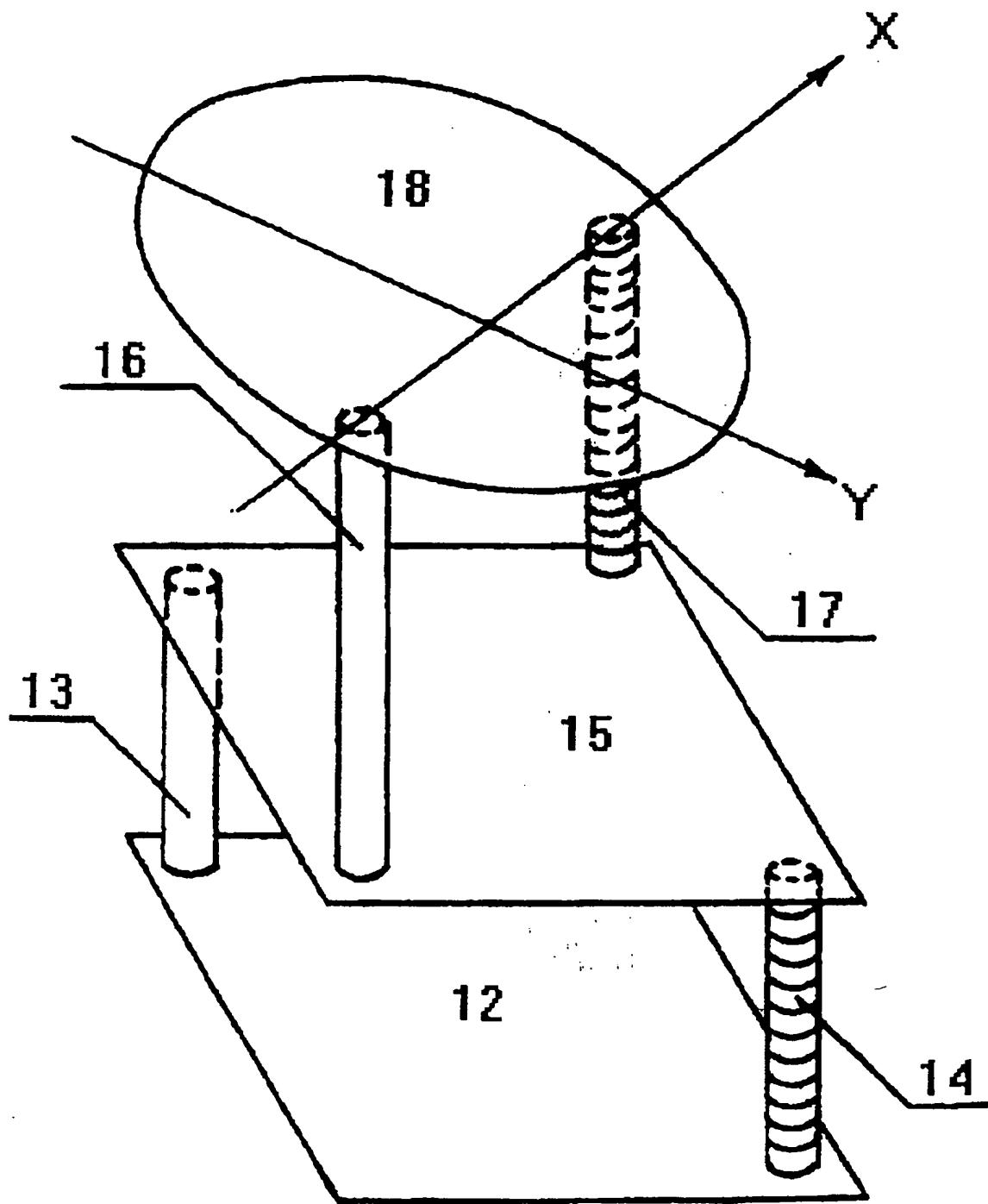
---

[Drawing 1]



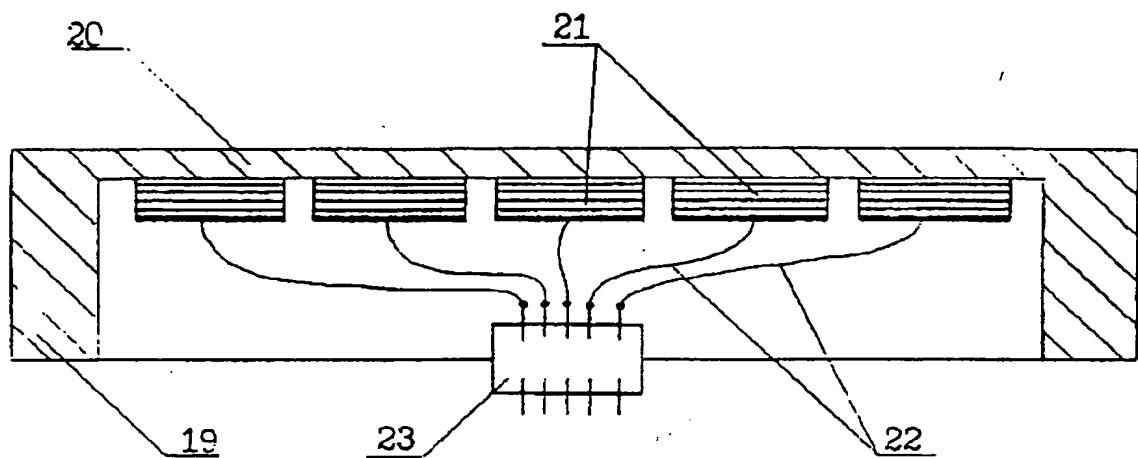
Фиг. 1.

[Drawing 2]



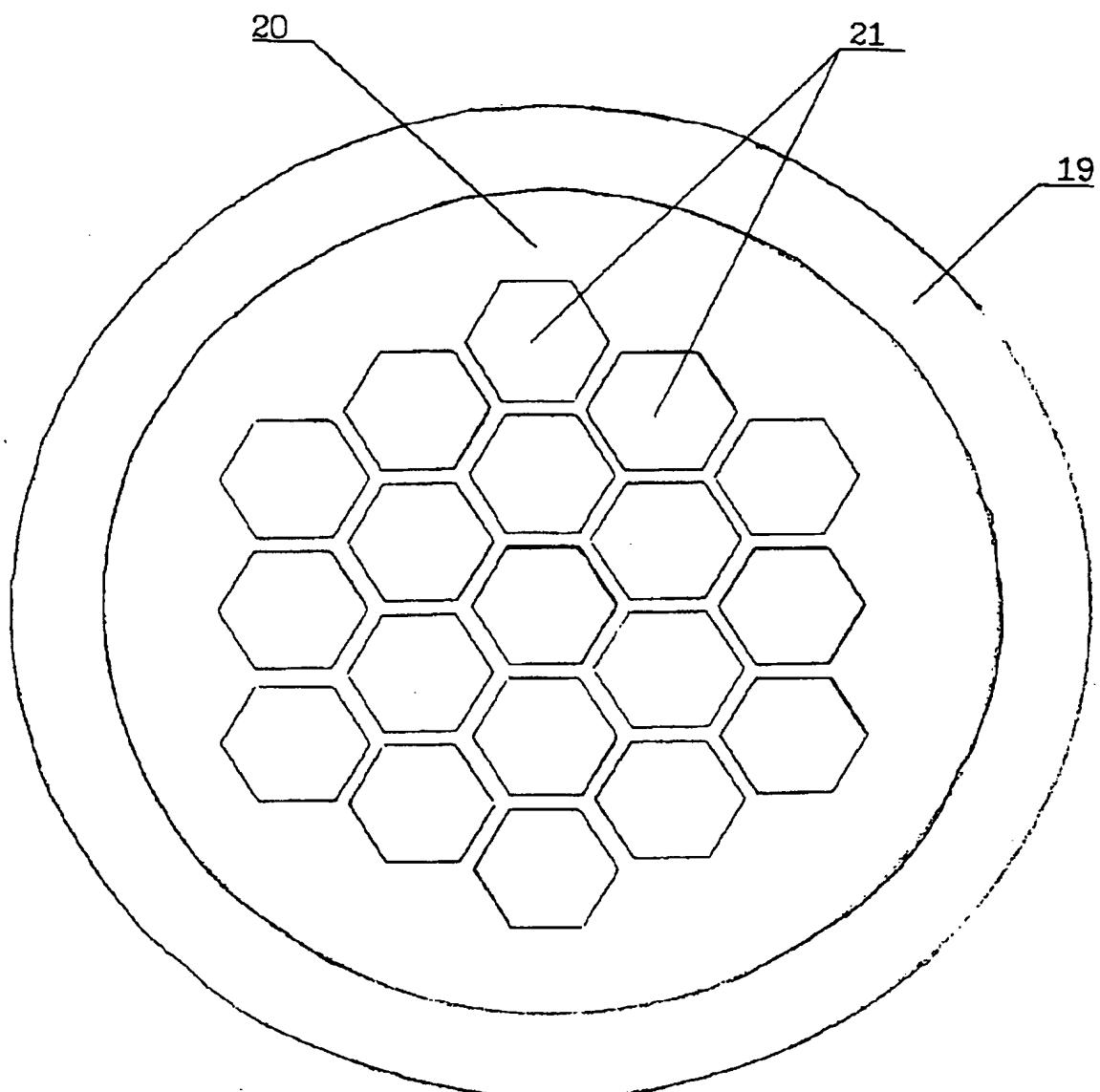
Фиг.2.

[Drawing 3]



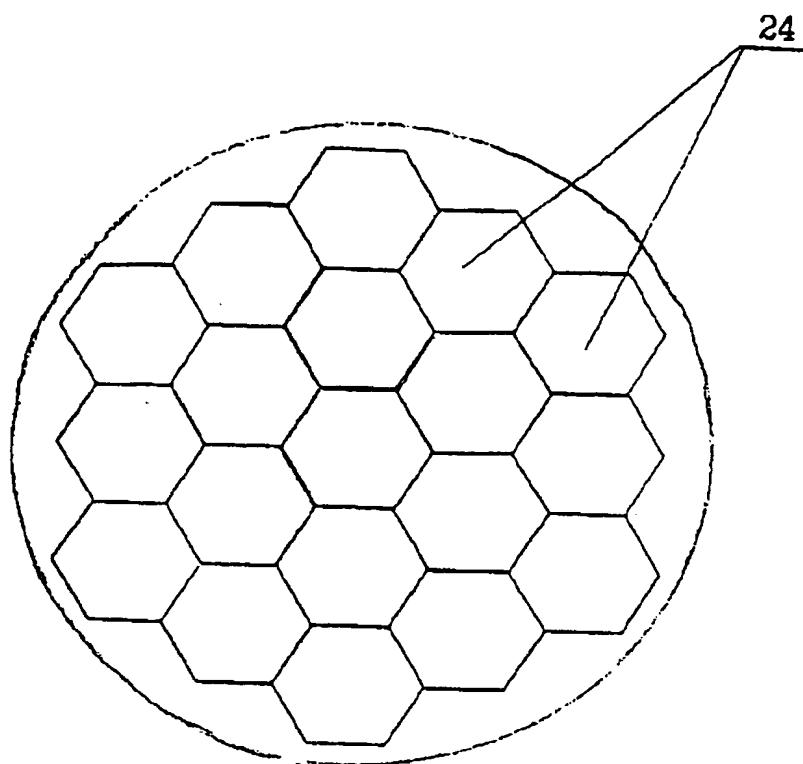
**Фиг. 3**

[Drawing 4]



Фиг. 4

[Drawing 5]



**Фиг. 5**

[Drawing 6]

## ADAPTIVE OPTICAL MODULE.

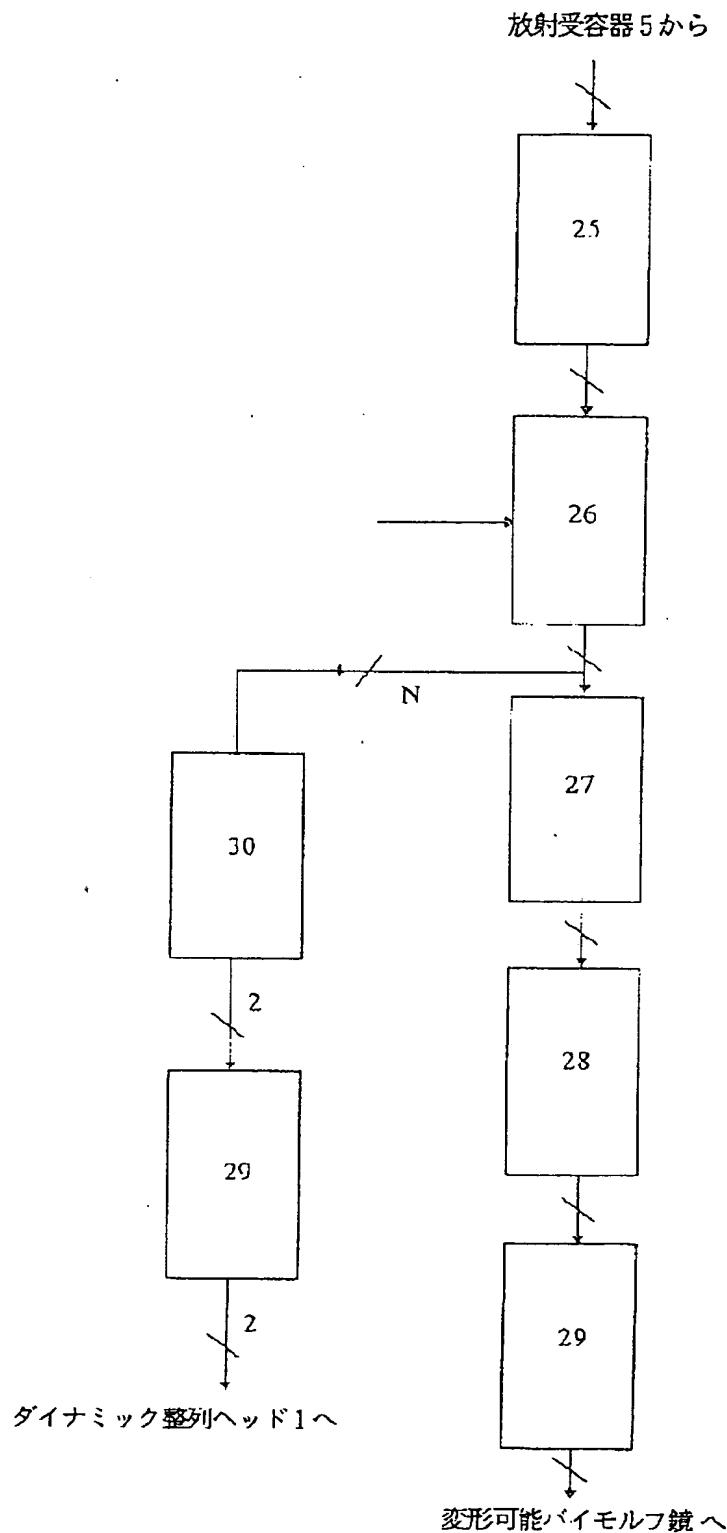


Fig. 6.

[Drawing 7]

## ADAPTIVE OPTICAL MODULE

ビーム分割器 3 から

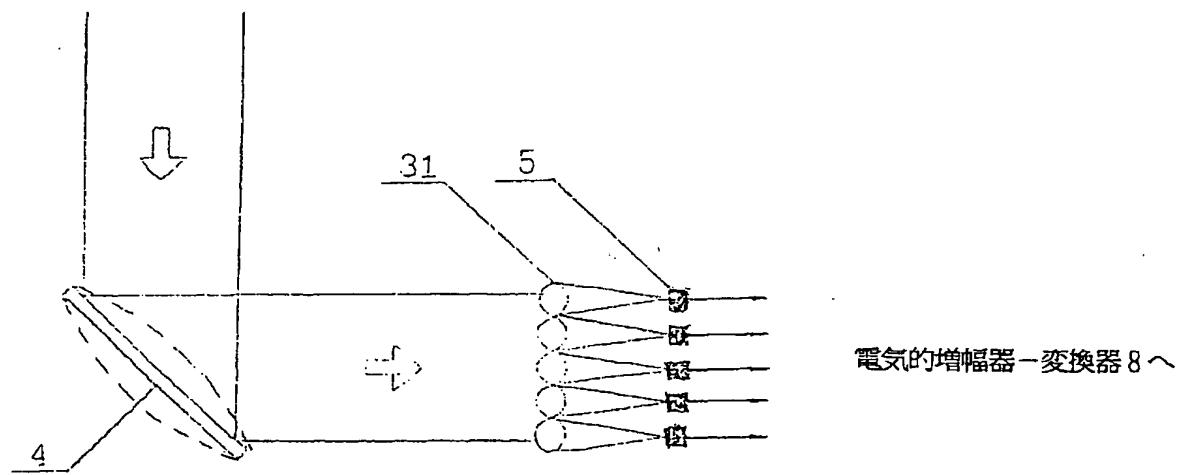
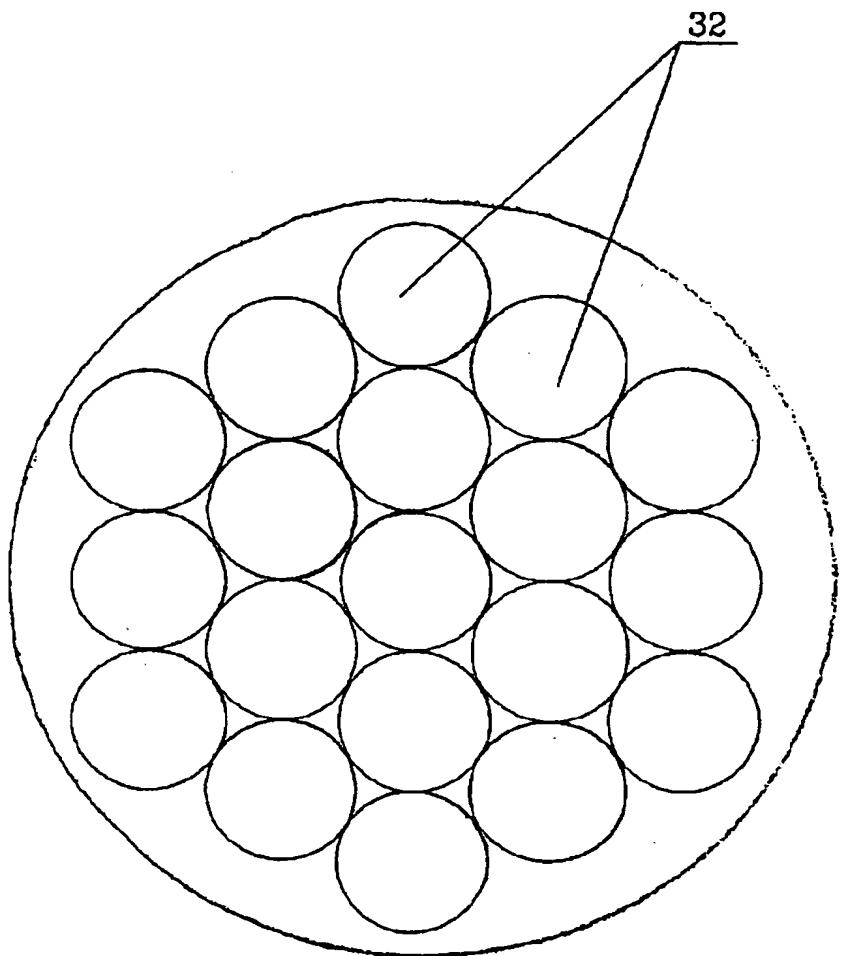


FIG. 7.

[Drawing 8]



**Фиг. 8.**

[Drawing 9]

## ADAPTIVE OPTICAL MODULE

ビーム分割器 3 から

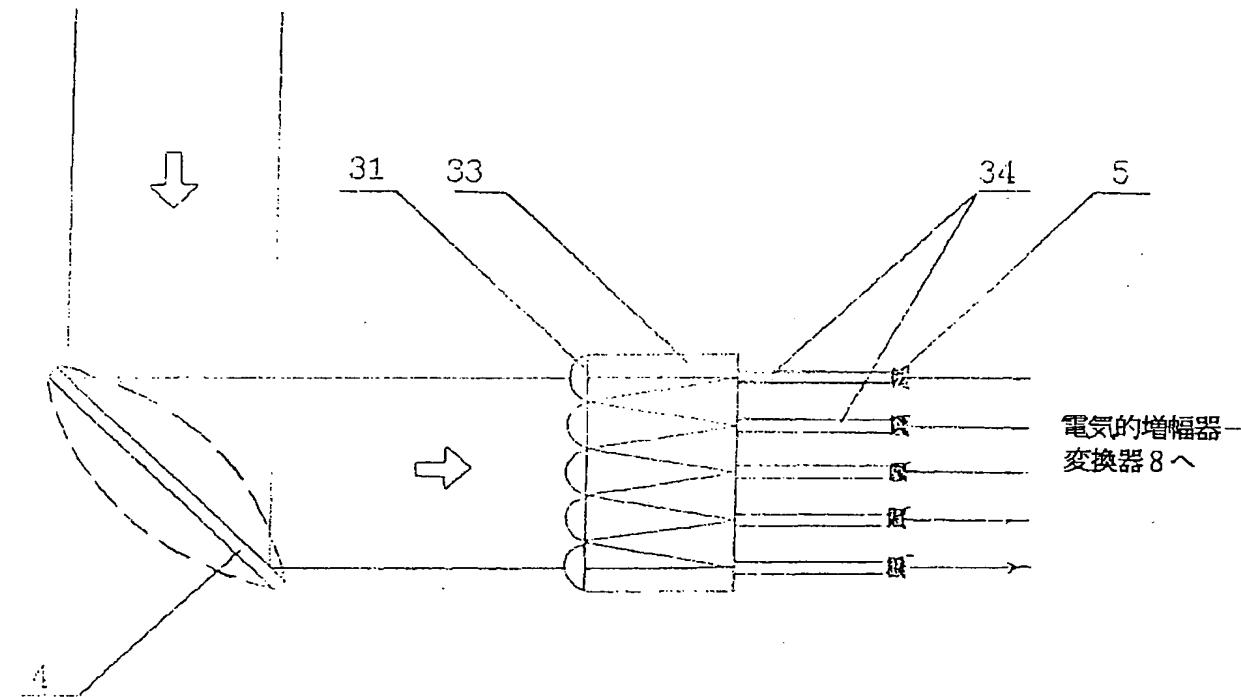


FIG. 9.

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11)特許出願公表番号

特表平10-503300

(43)公表日 平成10年(1998)3月24日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 26/06

識別記号  
7625-2K

府内整理番号  
F I  
G 0 2 B 26/06

審査請求 有 予備審査請求 未請求(全 39 頁)

(21)出願番号 特願平8-533980  
(86) (22)出願日 平成8年(1996)6月17日  
(85)翻訳文提出日 平成9年(1997)2月26日  
(86)国際出願番号 PCT/RU96/00161  
(87)国際公開番号 WO96/35973  
(87)国際公開日 平成8年(1996)11月14日  
(31)優先権主張番号 96108197  
(32)優先日 1996年5月6日  
(33)優先権主張国 ロシア (RU)

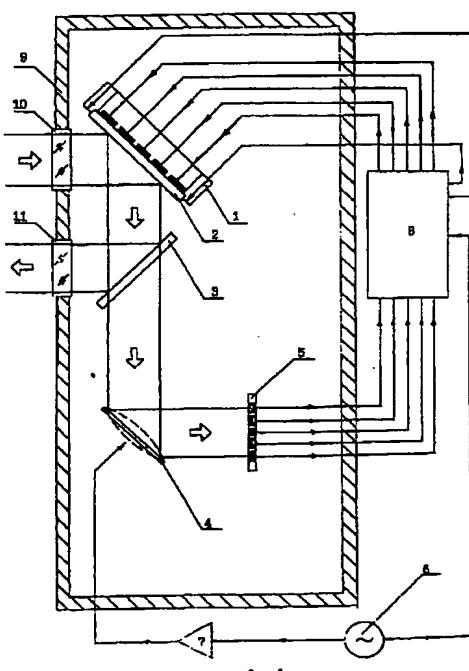
(71)出願人 イエイルズタウン コーポレイション エヌ ヴェー  
オランダ領 アンチル, クラカオ, デ・リュイテルカデ 58エイ  
(72)発明者 サフロノフ アンドレイ ゲナディエヴィッヂ  
ロシア連邦, 141070, モスクワ・リジョン, カリニングラード, ウル・キロワ, デイ-6エイ, ケイヴィ85  
(74)代理人 弁理士 伊東 忠彦 (外1名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 適応光学モジュール

(57)【要約】

本発明は制御可能な光学系に関し、光学的装置での放射波面制御又は位相歪み補正及び産業レーザー技術コンプレックス、異なるスペクトル範囲の光学的望遠鏡、光学的案内、及びトラッキングシステムを含む広いクラスのシステムに用いられる。本発明の要点は変形可能なバイモルフ鏡を有するダイナミック整列ヘッドを用いることによりその受容パワーレベルの同時に増加と適応光学システムの単純化で範囲拡大及び光学的放射位相歪み補正精度増加をなし、それは多層電圧システムと、フォトダイオードの六角形配列の形で作られる放射受容器と、六角形のレンズの配列とからなる。該放射受容器を含む全てのモジュール光学要素は入出力窓からなる共通の筐体内に配置される。これに加えて提案された設計は適応光学モジュール感度、信頼性を向上し、その機能的な潜在能力を広げる。



## 【特許請求の範囲】

1. 变形可能バイモルフ鏡と、ビーム分割要素と、変調鏡と、主発振器と、入力が主発振器出力の一つと結合され出力が該変調鏡と結合された変調鏡信号増幅器と、画像形成光学系と、フォトダイオード配列形の放射受容器と、入力が補正装置に結合された電子的増幅器-変換器とを含む該補正装置からなる適応光学モジュールであって、該補正装置はそれに設けられるダイナミック整列ヘッドの形で作られ、半受動バイモルフ構造の形で作られた変形可能なバイモルフ鏡は、六角形又は円形状の多層圧電要素の六角形モザイクシステムからなり、該放射受容器は円形又は六角形の光開口を有するフォトダイオードの六角形の配列の形で作られ、該電子的増幅器-変換器はダイナミック整列ヘッド駆動制御信号の発生の可能性で作られたことを特徴とするモジュール。
2. 円形の光開口を有するレンズの六角形の配列を設けられ、該配列は放射受容器の前に配置されることを特徴とする請求項1記載のモジュール。
3. 各放射受容器フォトダイオードは開口に対応するレンズの六角形の配列の焦点に配置されることを特徴とする請求項2記載のモジュール。
4. 一組のファイバー光学ケーブルを取り付けられ、それぞれ1の側でレンズの六角形配列の单一の副開口に結合され、他の側でフォトダイオードに対応する放射受容器に結合されることを特徴とする請求項2記載のモジュール。
5. 1の側でレンズの六角形配列に結合された光学要素を設けられ、他の側で一組の单一のファイバー光学ケーブルに結合され、レンズの六角配列の全ての副開口の焦点は該光学要素の背面に一致することを特徴とする請求項4記載のモジュール。
6. 共通の筐体を設けられ、ここで全ての光学的部品が放射受容器を含んで配置され、該筐体は入及び出力光学窓からなり、入力光学窓はそこに入来するビームの路内の変形可能なバイモルフ鏡の前に配置され、出力光学窓はそこから反射される、又はそこを通過するビームの路内のビーム分割要素を越えて配置されることを特徴とする請求項1乃至5のうちのいずれか1項記載のモジュール。
7. 入力光学窓は対物レンズの形で形成され、その入射光開口は該モジュ

ールに入来するビームの横方向の寸法に対応し、その出射光開口はそれに入来するビームに比例する鏡の傾斜角に関して変形可能なバイモルフ鏡制御可能光開口で条件づけられることを特徴とする請求項6記載のモジュール。

8. 变形可能なバイモルフ鏡は冷却可能な製品の形で作られることを特徴とする請求項1乃至7のうちのいずれか1項記載のモジュール。

9. 電子増幅器-変換器はその入力がフォトダイオードに対応する放射受容器に接続され、その出力は減算回路を設けられた同期検出器の入力に接続され、入力の一つが主発振器出力に接続され、出力が相互に並列に接続された変換器と乗算器に接続された減算器を設けられ、該変換器と乗算器はそれぞれ第一の増幅器を介してダイナミック整列ヘッド駆動器に、及びデジタル／アナログ変換器及び第二の増幅器を介して変形可能なバイモルフ鏡多層圧電要素に直列に接続されたことを特徴とする請求項1乃至8のうちのいずれか1項記載のモジュール。

## 【発明の詳細な説明】

## 適応光学モジュール

本発明の分野

本発明は制御可能な光学系に関し、光学的装置での放射波面(wavefront)制御又は位相歪み補正及び産業レーザー技術コンプレックス、異なるスペクトル範囲の光学的望遠鏡、光ガイド、及びトラッキングシステムを含む広いクラスのシステムに用いられる。

本発明の背景

望遠鏡の適応光学系大気位相歪み補正システムは知られており (J. Anuskevicz, M. J. Northcott, J. E. Graves. "Adaptive optics at the University of Hawaii:II. Control system with real-time diagnostics" Proc. SPIE, 1994, vol. 2201, p. 879-888 及び J. E. Graves, F. Roddler, M. J. Northcott, J. Anuskevicz. "Adaptive optics at the University of Hawaii:IV. A photon counting curvature wave front sensor." -Proc. SPIE, 1994, vol. 2201, p. 502-507参照)、中心の輪と2つの同軸の環の形で13の制御電極を有する能動的バイモルフ圧電構造に基づく変形可能なバイモルフ鏡を含む補正装置からなり、それぞれは6つの別々な部分に分割され (J.-P. Gaffard, P. Jagourel, P. Gigan. "Adaptive Optics: Description of available components at Laserdot." -Proc. SPIE, 1994, vol. 2201, p. 688-702参照)、波面傾斜ダイナミック補正用の鏡と；ビーム分割要素と；膜変調鏡と；主発振器と；入力が該主発振器出力の一つと結合され、出力が該変調鏡と結合された変調鏡信号増幅器と；画像形成光学系と；13の単一レンズからなり該レンズのそれぞれの配置と光開口構成は該変形可能なバイモルフ制御配列に対応する配列と；全ての配列副開口焦点がその背面に一致するよう合焦する該レンズ配列に結合される光学的要素と；13の單一アバランシェフォトダイオード

ドからなる光学的放射受容器と；それぞれが該レンズ配列單一副開口焦点に結合し、1の側で該光学要素に結合され、他の側で該放射受容單一フォトダイオードと結合される電子的増幅変換器とからなり、その入力が該補正装置と結合される。上記の適応光学システムの動作は光ビームの断面の波面局部曲率及びバイモル

フ鏡により該傾斜の以下の補正を有する波面境界上での局部半径位相傾斜の測定に基づく。付加的な鏡は対応する測定データに基づく該波面共通傾斜の補正に用いられる。該変調膜鏡はレンズ配列上の2つの望遠鏡の瞳孔を外れた焦点画像を形成し；第一の画像は該変調鏡が可能な限りくぼんだときに形成され；第二の画像は該鏡が可能な限りくぼんだときに形成される。変調がないときには平面膜鏡はレンズ配列上に正確に望遠鏡瞳孔画像を形成する。位相歪みが光ビーム内に存在しないときに該画像は同一であり、位相歪みが存在するときに該画像は異なる。結果として異なる焦点外画像信号は該フォトダイオードのそれぞれに対して異なる。各制御チャンネルの誤差信号は異なる焦点外画像に対応する同じ放射受容フォトダイオード信号の差である。振幅誤差電圧は該バイモルフ鏡の対応する電極に印加され、それは光学システムの該位相歪みを補正する。上記適応光学システムの欠点は：

- 1) バイモルフ鏡の制御可能な変形の低い振幅により引き起こされた補正可能な位相歪みの低い振幅及びその低い感度（それぞれ最大で $+/-10$ 及び最大で $25/kV$ ）；
- 2) 単一成分がバイモルフ鏡の13の高電圧制御ユニット（ $+/-400V$ ）及びレンズの配列を特に製造するように製造され、その12が環状区域の形を取る規格化されない構成を有するシステムの複雑さと高労働集約性によりもたらされる該システムの非常な複雑さ；
- 3) 非常に多くの制御電極で所定のクラスの該効率的なバイモルフ鏡の製造が不可能であることより制御チャンネル量の増加により実

質的に位相補正精度を増加することが不可能であること；

- 4) バイモルフ鏡单一制御電極及びレンズ配列単一副開口の低い対称の次元により引き起こされる低い位相補正精度；
- 5) 所定のクラスの冷却可能なバイモルフ鏡を形成することが不可能なことにより生ずる低い許容可能入力光学放射パワーレベル（概略 $1kW$ ）。

望遠鏡での大気位相歪みの補正用の適応光学システムは知られており（J.S.Pazder, E.H.Richardson, G.Barrick, "Optical Designs of Adaptive Optics Mod

ules for Canada-France-Hawaii and Gemini Telescopes." -Proc. Of the ICO-16 Satellite Conference on Active and Adaptive Optics, Aug. 2-5, 1993, Garching/Munich, Germany, F. Merkle ed., ESO Conference and Workshop Proc., 48, p. 59-64 及び R. Arsenault, D. Salmon, J. Kerr 等による "PUEO", The Canada-France-Hawaii Telescope Adaptive Optics Bonnette. I. System Description." -Proc. SPIE, 1994, vol. 2201, p. 833-842 参照) 、 それぞれ 6 と 12 の別の区画に分割された中心楕円及び 2 つの同心楕円環の形を取る 19 の制御電極で能動的圧電バイモルフ構造に基づく波面傾斜ダイナミック補正鏡及び変形バイモルフ鏡 (C. Boyer, P. Jagourel, J. P. Gaffard 等による "Laserdot components of the PUEO Adaptive Optics System." -Laserdot-Cilas, September 1995 を参照) と ; ピーム分割要素と ; 変調膜鏡と ; 主発振器と ; その入力は該主発振器出力の一つと結合され、その出力は該変調鏡と結合される変調鏡信号増幅器と ; 画像形成光学系と ; 19 の単一レンズからなり、該レンズのそれぞれの配置と光開口構成は該変形可能なバイモルフ制御配列に対応する配列と ; 全ての配列副開口焦点がその背面に一致するよう合焦する該レンズ配列に結合される光学的要素と ; 19 の単一アバランシェフォトダイオードからなる光学的放射受容器と ; それぞれが該レンズ配列単一副開口焦点に結合し、1 の側で該光学要素に結合され、他の側で該放射受容単一フォトダイ

オードと結合されるファイバー光学ケーブルと ; その入力が該放射受容器及び主発振器出力に接続され、その出力は補正装置に接続される電子増幅器 - 変換器とからなる。該適応光学システムの動作は 13 の代わりに該システムでの 19 の位層制御チャンネルがあり、その 12 は波面周辺半径傾斜補正用に用いられることが異なる上記システムと類似である。

該適応光学システムの欠点は :

- 1) バイモルフ鏡の制御可能な変形の低い振幅により引き起こされた補正可能な位相歪みの低い振幅及びその低い感度 (最大鏡制御可能曲率半径は  $+/- 34$  ) ;
- 2) 第一に波面傾斜補正に用いる特殊な鏡の必要性と、第二に単一成分がバイモ

ルフ鏡の19の高電圧制御ユニット（+/-400V）及び環状区域の形を取る規格化されない構成を有するその18のレンズ配列を特に製造するシステムの複雑さと高労働集約性によりもたらされる該システムの非常な複雑さ；

3) 非常に多くの制御電極で所定のクラスの該効率的なバイモルフ鏡の製造が不可能であることより制御チャンネル量の増加により実質的に位相補正精度を増加することが不可能であること；

4) バイモルフ鏡単一制御電極及びレンズ配列単一副開口の低い対称の次元により引き起こされる低い位相補正精度；

5) 所定のクラスの冷却可能なバイモルフ鏡を形成することが不可能なことにより生ずる低い許容可能入力光学放射パワーレベル（概略1kW）。

望遠鏡での大気位相歪みの補正用に用いられる適応光学システム及び本発明に最も近く適応される従来技術は知られておりそれは補正装置からなり、それは変形バイモルフ鏡とビーム分割要素と変調膜鏡と主発振器とその入力は該主発振器出力の一つと結合され、その出力は該変調鏡と結合される変調鏡信号増幅器と、画像形成光学系と、フォトダイオード配列からなる光学的放射受容器と、その入

力が該放射受容器と該主発振器とに結合され、その出力は該補正装置に結合される電子的増幅変換器とからなる（例えばJ.E.Graves, D.L.McKenna, "The University of Hawaii adaptive Optics system:111. The Wavefront Curvature Sensor, " -Proc.SPIE, 1991, vol.1542, p.262-272を参照）。

該適応光学システムの動作は、上記システムに類似であり、この場合には膜鏡変調が望遠鏡瞳孔焦点外画像に存在するときに該放射受容器上に直接形成されるが、該レンズ配列上には形成されないことが異なる。該適応光学システムの欠点は：

1) バイモルフ鏡の制御可能な変形の低い振幅により引き起こされた補正可能な位相歪みの低い振幅及びその低い感度（それぞれ最大で+/-10及び最大で25/kV）；

2) 単一成分がバイモルフ鏡の13の高電圧制御ユニット（+/-400V）及び特殊な波面傾斜補正鏡を用いる必要により生ずるシステムの非常な複雑さ；

3) 非常に多くの制御電極で所定のクラスの該効率的なバイモルフ鏡の製造が不可能であることより制御チャンネル量の増加により実質的に位相補正精度を増加することが不可能であること；

4) バイモルフ鏡单一制御電極及びレンズ配列単一副開口の低い対称の次元により引き起こされる低い位相補正精度；

5) 所定のクラスの冷却可能なバイモルフ鏡を形成することが不可能なことにより生ずる低い許容可能入力光学放射パワーレベル（概略 1 kW）。

#### 本発明の要約

本発明の技術的な結果は範囲の拡大と光学的放射位相歪み補正精度がその受容されたパワーレベル及び適用光学システムの簡単化を向上することからなる。

該結果は提案された適応光学モジュールの使用により得られ、該モジュールは変形バイモルフ鏡と、ビーム分割要素と、変調膜鏡と、

主発振器と、その入力は該主発振器出力の一つと結合され、その出力は該変調鏡と結合される変調鏡信号増幅器と、画像形成光学系と、フォトダイオード配列からなる光学的放射受容器と、その入力は該放射受容器と該主発振器出力に接続され、その出力は補正装置に結合され、該補正装置はそれに設けられるダイナミック整列ヘッドの形で作られ、半受動バイモルフ構造の形で作られる変形可能なバイモルフ鏡は六角形又は円形構造の多層圧電要素の六角形モザイクシステムからなり、該放射受容器は円形又は六角形の開口を有するフォトダイオードの六角形の配列の形で作られ、該電子的増幅器-変換器はダイナミック整列ヘッド駆動制御信号の発生の可能性で作られる。

これに加えて該適応光学モジュールは円形の光開口を有するレンズの六角形の配列を設けられ、該配列は放射受容器の前に配置される。

該放射受容器フォトダイオードのそれぞれは開口に対応するレンズの六角形配列の焦点に配置される。該モジュールはまた一組のファイバー光学ケーブルを取り付けられ、そのそれぞれは1の側でレンズの六角形配列の单一の副開口に結合され、他の側でフォトダイオードに対応する放射受容器に結合される；1の側でレンズの六角形配列に結合された光学要素を設けられ、他の側で一組の单一のフ

アイバー光学ケーブルに結合され、レンズの六角配列の全ての副開口の焦点は該光学要素の背面に一致する；それは共通の筐体に取り付けられ、ここで全ての光学的部品が放射受容器を含んで配置され、該筐体は入出力光学窓からなり、入力光学窓はそこに入来するビームの路内の変形可能なバイモルフ鏡の前に配置され、出力光学窓はそこから反射される、又はそこを通過するビームの路内のビーム分割要素を越えて配置される。入力光学窓はまた対物レンズの形で形成され、その入射光開口は該モジュールに入来するビームの横方向の寸法に対応し、その出射光開口はそれに入来するビームによ

る鏡の傾斜角に関して変形可能なバイモルフ鏡制御可能光開口で条件づけられる。該変形可能なバイモルフ鏡は冷却可能な製品の形で作られる。該電子増幅器－変換器はその入力がフォトダイオードに対応する放射受容器に接続され、その出力は減算回路を設けられた同期検出器の入力に接続され、その入力の一つは主発振器出力に接続され、変換器と乗算器はそれぞれ第一の増幅器を介してダイナミック整列ヘッド駆動器に、及びデジタル／アナログ変換器及びその出力が相互に平行に接続された変換器と乗算器に接続される第二の増幅器を介して変形可能なバイモルフ鏡多層圧電要素に直列に接続される。

光学的放射位相歪み補正範囲の広域化、即ち、補正可能な歪み最大振幅の増加は変形可能なバイモルフ鏡が六角形又は円形の構成の多層圧電要素の六角形のモザイクシステムからなる半受動バイモルフ構造の形で作られることにより達成される。その様な場合には実際、鏡の光学的表面の制御可能な変位振幅は該半受動バイモルフ鏡での多層圧電要素の使用により増加し、該鏡の感度はまた増加する。これらの両方の効果は従来技術の能動的バイモルフ鏡と比較してさえも生ずる。1の多層圧電要素を含む1チャンネル多層バイモルフ鏡が用いられるときにこれらの両方の効果は以下の数値的な例により確認される：最大電圧300Vでの反射表面の変形は21のオーダー（従来技術で用いられる鏡に対して400Vで10）である；感度は70/kV（従来技術で用いられる鏡に対して25/kV）であり、A.G. Safronov, Kvantovaya elektronika, 1995, v.22, N 11, PP. 1113-1117参照。この上記のデータは平均的なものであり、それらはモリブデン反射板

を有するバイモルフ鏡の上面に対応し、その光開口は従来技術で用いられる鏡より若干大きい。変形可能なバイモルフ鏡の光学的表面変位は波面の補正可能な歪み最大振幅が従来技術と比較して提案された適応光学モジュールで増加し、即ち光学的放射位相歪み補正範囲の広域化が達成される。このような場合の

対応する特徴は提案された適応光学モジュールでの変形可能な鏡の半受動的バイモルフ構造が多層要素からなることである。

知られている従来技術及びその類似技術に於いて該特徴の使用は不可能である。何故ならば单一の多層圧電要素は半受動バイモルフ構造のみで実現可能であるからである。光学的放射位相歪み補正精度の向上は該適応システム内のチャンネル量の位相制御の増加の可能性により提案された発明で達成される。実際に波面歪みの測定及び補正は補正の残りの誤差が減少する、即ち補正精度が増加する結果として従来技術より大きな空間周波数の様な場合に可能である。

その様な場合の対応する特徴は：変形可能な半受動的バイモルフ構造は該適応モジュール内で六角形又は円形構造の多層圧電要素の六角形モザイクシステムからなり；放射受容器は円形又は六角形の光開口を有するフォトダイオードの六角形の配列の形で作られる。

位相制御チャンネル数の実質的な増加は知られている従来技術又はその類似技術で特に不可能である。何故ならば非常に多数の制御電極構造を有する能動バイモルフ構造に基づく変形可能な鏡は制御電極の電気的配置及びそれらへの保守の受容の両方が不可能である故に実際には決定不能な問題である。

望遠鏡での大気位相歪み補正の適応光学システムは従来技術のレベルから知られており、該システムは19又は37の制御電極の六角形システムを有する半受動変形可能な鏡からなる（F.F.Forbes, N.Roddier, "Adaptive optics using Curvature sensing" - Proc. SPIE, 1991, vol. 1542, p. 140-147参照）。知られたシステムは提案されたモジュールから隔たっているにもかかわらず変形可能なバイモルフ鏡に該多層圧電要素を含まずにその外表面に設けられた制御電極を有する圧電板からなる。動作特性及び該鏡の効率は非常に低く、特に該鏡は非常に低い反射面変位振幅を有し、それに基づいた知られている適応光学システムは狭い位相

補正範囲（波面歪み振幅）を有する。

上記に加えて：

- 1) 制御電極の電気的配置が不可能である故に知られたシステムの制御チャンネルの量を実質的に増加することはまた不可能である；
- 2) 知られているシステムで用いられるバイモルフ鏡は低い動作特性を有し、実際の光学システムに供給するためには複雑であり、製造に於いて非常に高い労力消費があるゆえにその実際的な実現は不可能である；
- 3) 知られているシステムでは一組のプリズムと固体光電子倍増管が用いられる放射受容器は、それは実質的に本発明で応用された一つから区別されるものであり、該放射受容器の実際の実現と効率は非常に低い。

全体としての知られているシステムの効率及びその「有用性」は故にまた非常に低い。故に上記に基づき該特性の組合せのみが上記技術的結果、即ち範囲の拡大及び光学的放射位相歪み補正精度の増加を得ることを可能にする。

本発明の該適応光学システムの簡単化は以下の理由により提供される：

- 1) 波面共通傾斜をダイナミックに補正し、該鏡をダイナミック整列ヘッドで置き換えるために、特殊な鏡を用いないことによる。この場合の対応する特性は：補正装置がそこに設けられた変形可能なバイモルフ鏡を有し、半受動的バイモルフ構造の形に作られた該ダイナミック整列ヘッドの形に作られ、該電子的増幅器-変換器はダイナミック整列ヘッド駆動制御信号の発生の可能性を有するよう作られる；
- 2) 該変形可能バイモルフ鏡制御電圧を減少し、低電圧装置を有する嵩が大きく複雑な鏡制御高電圧ユニットを置き換えることによる。変形可能バイモルフ鏡制御電圧の減少はその設計での多層圧電要素の利用により提供される。実際にその様な場合には所定の振幅を有する位相歪みの補正に対して知られた従来技術及びその類似技術と

比較して変形可能バイモルフ鏡に対して実質的により少ない制御電圧を印加すればよい。故に該高電圧制御ユニットは適応光学モジュールの効率の減少なしに低

電圧ユニットで置き換えられる。その様な場合に対応する特性は該変形可能バイモルフ構造は多層圧電要素の該六角形のモザイクシステムからなる。適応光学システムの簡単化のためのダイナミック整列ヘッドの使用は従来の技術レベルから知られている (A.V. Ikramov, A.G. Safronov. "Optical adaptive module", 1994年8月4日に承認された07.12.1992, Int.Cl.G02B 26/06, のロシア国特許第92010078/28(055859)号を参照)。上記特性の両方の組合せのみが上記技術の結果を得ることを保証すること、即ちオプトメカニカル及び電子的部品の両方での本発明の該適応光学システムの実質的に保証された簡単化を可能にする。

これに加えて従来技術即ち該補正装置の第一の2つの上記に示された特徴の使用は変形可能バイモルフ鏡を有するダイナミック整列ヘッドの形で作られることが不可能であることを留意する必要がある。どのような場合でもこの目的で例えばB-455.20(又はB-455.30) Gimbal Mount Mirror Holder with Piezoelectric Fine Adjustment(Catalogue B-455又はB-455-30で) of Physik Instrumente(PI) GmbH社)のような整列ヘッドの産業規格が用いられる。この理由で実質的な全体の寸法と変形可能なバイモルフ鏡の重さが従来技術で用いられた(直径100mm、長さ80mm、1kgのオーダーの重さ)。一例としてこれらのデータは多層1チャンネル半受動バイモルフ鏡の特性と類似の特性と比較される(多チャンネル半受動バイモルフ鏡重さ寸法パラメータは実質的ではなく相互に明白に異なる): 直径60-70mm、厚さ(電子的コネクターを除く)13mm重さ約250g (A.G. Safronov, Kvantovaya elektronika, 1995, v.22, N 11, pp.1113-1117を参照)。上記特性を有する該変形可能バイモルフ鏡は上述の製品のインストールを含み該ダイナミック整列ヘッド内に特に理想的にインストールされる。従来

技術と比較して該上記技術の結果(即ち適応光学システムの簡単化)の達成は上記特徴の組合せの場合のみ提供され、即ち補正装置は多層圧電素子の六角形モザイクシステムからなる変形可能バイモルフ鏡をそこに設けられたダイナミック整列ヘッドの形で作られ、電子増幅器-変換器はダイナミック整列ヘッド駆動制御信号の発生の可能性で作られる。

本発明の一つの特徴は適応光学モジュールの感度の増加の目的のために該放射受容器の前の円形光開口を有するレンズの六角形配列が設けられる。適応光学モジュール感度増加はその暗電流及びシステム内部ノイズ減少の結果として全ての放射受容器フォトダイオード光開口の減少によるような場合に達成される。感度の増加のためのレンズ配列の使用は知られた類似技術で実施されている。両方の場合にもかかわらず单一のレンズがこれらの配列で用いられる。バイモルフ鏡単一電極に対応するレンズ構成は規格化されていない。故に該レンズの製造及び光学制御は複雑であり、労力を要する。通常の円形レンズで規格化されていない光学レンズを置き換える可能性は該適応光学モジュールの更なる簡単化をもたらす。全体でこの特徴の使用することのみ（即ち、モジュールが放射受容器の前に配置される円形光開口を有するレンズの六角形の配列を設けられる）が適応光学モジュール感度増加を得るためのみならず、本発明が意図される（適応光学システムの簡単化）を得るための実質的な技術的結果をまたもたらす。

提案された適応光学モジュールの感度及び信頼性の増加及びその機能的ポテンシャルを更に広げるために、放射受容器フォトダイオードのそれぞれは開口焦点に対応するレンズの六角形配列に配置される；該モジュールは一組のファイバー光学ケーブルで供され、そのそれぞれは片側でレンズの六角形配列の单一の開口に結合され、他の側でフォトダイオードに対応する放射受容器に結合される。該モジュールはまた片側でレンズ六角形配列に、他の側でファイバー

光学ケーブルの組に結合され、全てのレンズ六角形副開口の焦点は該光学要素の背面で一致する。該モジュールは共通の筐体に設けられ、ここで全ての光学要素が該放射受容器を含み配置される。該筐体は入出力光学窓からなり、入力光学窓はそこに入来するビームの路内の変形可能なバイモルフ鏡の前に配置され、出力光学窓はそこから反射される、又はそこを通過するビームの路内のビーム分割要素を越えて配置される。入力光学窓はまた対物レンズの形で形成され、その入射光開口は該モジュールに入来するビームの横方向の寸法に対応し、その出射光開口はそれに入来するビームによる鏡の傾斜角に関して変形可能なバイモルフ鏡制御可能光開口で条件づけられる。該電子増幅器－変換器はその入力がフォトダイ

オードに対応する放射受容器に接続され、その出力は減算回路を設けられた同期検出器の入力に接続され、その入力の一つは主発振器出力に接続され、変換器と乗算器はそれぞれ第一の増幅器を介してダイナミック整列ヘッド駆動器に、及びデジタル／アナログ変換器及びその出力が相互に平行に接続された変換器と乗算器に接続される第二の増幅器を介して変形可能なバイモルフ鏡多層圧電要素に直列に接続される。

上記のように本発明の適応光学モジュール属性の一つは入力光学放射受容パワーレベル増加の目的で該変形可能なバイモルフ鏡は冷却可能な製品の形で作られる。知られている従来技術及びその類似技術に於いて該特徴の使用は不可能であること（即ち該技術結果－入力光学放射受容パワーレベル増加－が達成不可能であること）を留意する必要がある。何故ならば能動バイモルフ構造に基づく該バイモルフ変形可能鏡で反射面冷却システムを実現することは不可能であるからである。故に上記特徴の組合せ（該変形可能バイモルフ鏡が同時に半受動バイモルフ構造及び冷却可能な製品の形で作られる）のみか上記技術の結果を得ることを保証する。

#### 図面の簡単な説明

図1はその筐体の可能な実施例を含む適応光学モジュールの概略を示す。

図2にダイナミック整列ヘッド設計をその動作の原理を説明するために概略的に示す。

図3に5つの圧電板（圧電層）が各多層圧電要素で用いられるときに半受動バイモルフ構造に基づく変形可能なバイモルフ鏡の概略の断面を示す。

図4に圧電要素が六角形の構成を有し、その数が19である場合の多層圧電要素の側から変形可能バイモルフ鏡を見た図を示す。

図5に放射受容器が六角形の光開口を有する19のフォトダイオードからなる配列である場合の放射受容器を示す。

図6に電子的増幅器－変換器のブロック図を示す。

図7に円形光開口を有するレンズの配列が用いられるときの適応光学モジュール設計の部分を示す。

図8にレンズが円形の構成を有し、その共通の数が19に等しいときの場合を示す。

図9に適応光学要素と一組のファイバー光学ケーブルがレンズ配列の向こうで用いられるときの適応光学モジュール設計の部分を示す。

#### 最適実施例の説明

図1で適応光学モジュールはそれに設けられる変形可能バイモルフ鏡2を有する整列ヘッド1と、ビーム分割要素3と、変調鏡4と、放射受容器5と、主発振器6と、変調鏡信号増幅器7と、電子的増幅器-変換器8とからなる。これに加えて図1で該適応光学モジュールは選択的に入力10と出力11光学窓を含む筐体9からなる。図2で該ダイナミック整列ヘッドは固定ベース12と、2つの支持体13と16と、2つの圧電駆動体14と17と、可動フレーム18とからなる。図3と図4を参照するに該変形可能なバイモルフ鏡は筐体19と、反射板20と、多層圧電要素21と、接続電線22

と、電気コネクタ23とからなる。図5で該放射受容器はフォトダイオード24からなる。図6で該電気的増幅器-変換器はプリアンプ25と、同期検出器及び減算回路26と、制御行列乗算器27と、デジタル/アナログ変換器28と、出力増幅器29と、変換器30とからなる。該適応光学モジュールは図7で選択的にレンズ31の配列からなり、該レンズは図8で円形光開口32を有し、図9で光学要素33と、一組のファイバー光学ケーブル34とからなる。該圧電駆動は該ダイナミック整列ヘッド設計の一部分であり、図1に矢印で示す。光学的部品と電気装置間の電気的信号路の方向との間の光ビームの伝搬の方向は対応する矢印7と9により図7に示される。変調鏡光学面4の両極端の位置は点線により図1、7、9に示される。2つの相互に垂直な座標軸は図2に記号X、Yで示される。

図6の信号ユニット通信ライン付近の記号「N」と「2」は対応する装置が幾つかの入出力チャンネルを有することを示す。

該適応光学モジュールは以下のように動作する。

入力光学放射(ビーム)は(図1で)該変形可能なバイモルフ鏡2に入来し、

それは該ダイナミック整列ヘッド1内に取り付けられ、更に該ビーム分割器要素3へ入来し、そこから該放射の小さな部分が受容光学チャンネル（即ち該変調鏡4）内に搬送され、主ビームはモジュール出力へ入来する。該変調鏡4から反射された光学的放射は該放射受容器5に入来し、電気信号は該受容器から該電気的変換器8へ印加される。初期状態では該変形可能なバイモルフ鏡1及び該変調鏡4の光学的構成は平面であり、画像形成光学系（図示せず）を含む全てのモジュールオプトメカニカル要素（1、2、3、4、5）は放射源又は観察対象のいずれかの実際の焦点像は該放射受容器上に形成されるように整列される。モジュール光学回路の初期整列の一方で平坦な波面を有する光学ビームが用いられる。該光学要素へ入射する光学ビームの角度は従来のように示され、必要な方法で各特殊な場合に変更されうる。

例えば正弦波信号のような電気的信号が該増幅器7を介して該主発振器6から該変調鏡4に初期状態で入来したときに後者はその曲率を変更する。2つの焦点外画像が符号が反対の2つの最大変調鏡のたわみに対応するある瞬間に該放射受容器5上に形成される（図1を参照）。これらの焦点外画像は平坦な波面を有する入力光学ビームが入来するときに初期状態で同一である。各放射受容器フォトダイオード24からの電気信号（図5を参照）は増幅器-変換器8の入力に印加され、ここで各信号は第一に該プリアンプ25で増幅され（図6を参照）、それから同期検出器及び減算回路26に印加される。該プリアンプ25及び該減算回路を有する該同期検出器26のチャンネル数（図6を参照）は該受容器放射フォトダイオード24の量に対応する（図5を参照）。

図6ではそれが対応するユニットの通信ライン付近の記号「N」により示される。2つの信号は該同期検出器26の各チャンネル内で検出され（図6を参照）、そのそれぞれは光学表面の2つの最も端の位置に対応する瞬間に、即ち2つの外焦点画像が放射受容器5上に形成されるときに該放射受容器5（図1を参照）の対応するフォトダイオード24（図6を参照）上の光学放射強度に比例する。この目的のために電気信号は該主発振器6（図1を参照）から該同期検出器26（図6を参照）に印加される。該減算回路26（図6を参照）の各チャンネルの

出力での電気信号は該両方の信号と異なる。入力光学ビームが平坦な波面を有する間に初期状態で形成された焦点外画像は同一である故にこの場合には該同期検出器及び該減算回路26の全てのチャンネルの出力での電気信号はゼロに等しい。結果として電気的増幅器-変換器入力(図6を参照)及びダイナミック整列ヘッド1での全ての電気的信号及び変形可能なバイモルフ鏡2の入力はゼロに等しく、鏡の構成はなお平坦であり、出力光学ビームは初期には平坦な波面を有する。波面歪みが入力光学ビームに存在するときに変調鏡反射面の2つの最も端の位置に対応する

瞬間に放射受容器5(図1を参照)上に形成される焦点外画像は異なる。結果として該同期検出器及び引き算回路26(図6を参照)の各チャンネル内の出力電気信号はゼロ以外である。放射受容器5(図1を参照)の内側フォトダイオード24(図5を参照)に対するその様なそれぞれのチャンネルの入力での対応する差信号は光学的ビーム波面の局部曲率(曲率半径に逆比例する)、即ち放射受容器5の单一のフォトダイオード24の单一の副開口(單一フォトダイオード24の感度パッド)の制限内の波面曲率に比例する。放射受容器5(図1を参照)の周辺フォトダイオード24(図5を参照)に対して同期検出器及び差分回路26(図6を参照)のその様なそれぞれのチャンネルの入力での対応する差信号は入力光学ビーム波面の局部傾斜に比例する(F.Roddier, "Curvature sensing and compensation, a new concept in adaptive optics," -Appl.Opt., 1988, v.27, 7, p.1223-1225参照)。これらの両方の条件は放射受容器及びそれから入来る該光学的ビームの横断的寸法を条件付けすることにより達成される。電気的信号は同期検出器及び減算器出力(図6を参照)から乗算器ユニット27に印加され、これは多重の乗算器動作の実行により変形可能なバイモルフ2(図1)の制御信号を発生する:

$$V = C \times U \quad (1)$$

ここで同期検出器及び減算器出力(図6を参照)26の出力信号のUベクトル、即ちベクトルUの各要素 $U_i$ は信号チャンネルの出力電圧に対応し;ベクトルUの次数はNに等しく、即ち放射受容器5(図1を参照)の单一の開口の量(单一

のフォトダイオード 24、図 5 を参照) に等しい; C 制御行列ディメンジョンはこの場合には  $N \times N$  であり; 最も簡単な場合には行列 C は対角行列であり、その要素は異なる参照源を用いる適応モジュール構成の準備段階での実験により決定される; 制御ユニット 27 の出力信号の V ベクトル (図 6 を参照): ベクトル V の各要素  $V_i$  は変形可能なバイモルフ

鏡 2 の制御チャンネルの数に等しい (この場合には N)。

該デジタル／アナログ 28 (図 6 参照) 及び該出力増幅器 29 は乗算器ユニット 27 の出力信号を制御電圧に変換し、それは筐体 19 (図 3、4 を参照) と、反射板 20 により形成される半受動バイモルフ構造と、六角形又は円形構造の多層圧電要素 21 の六角形モザイクシステムとからなる該変形可能なバイモルフ鏡 2 (図 1 を参照) に印加される (図 4 に六角形の構成の多層圧電要素が示される)。電気的制御電圧は電気コネクタ 23 と接続ワイヤ 22 (図 3 を参照) を介して多層圧電要素に印加される。内部接続により電圧は各多層圧電要素の各圧電層 (又は圧電板) に印加され、それは上記の技術的結果を得るために原理的に重要である。電圧が多層圧電要素に印加されるときにそれらは逆圧電効果により変形され、それは対応する局部半受動バイモルフ構造及びその結果、変形可能なバイモルフ鏡反射面の変形 (曲げ) を引き起こす。

最も簡単な場合では (円形構成の唯一の制御電極又は唯一の多層圧電要素の存在でその中心が鏡の中心と一致する) 制御電圧 V が印加されるときに半受動変形可能バイモルフ鏡反射面 W (r) の構成は以下の式により表される (制御電極又は圧電要素の制限内で) :

$$W(r) = -K(r/r_0) 2V, \quad 0 < r < r_0 \quad (3)$$

ここで  $r_0$  制御電極 (多層圧電要素) の半径、K は鏡振幅感度である。該解析的な式 (2) は以下の文献に記載される: P. Jagourel, P.-Y. Madec, M. Sechaud. "Adaptive Optics: A bimorph mirror for wavefront correction." - Proc. SPIE, 1990, vol. 1237, p. 394-405; the experimental verification-in the work A. G. Safronov, Kvantovaya elektronika, 1995, v. 22, N 11, pp. 1113. 式 (2) は圧電セラミックのヒステリシス効果を計算に入れておらず、その反射面の初期平面構成

を有する変形可能鏡に対するものである。式(2)が先端での曲率半径  $R_{cr}$  を有する回転放物線を表すことは明らかであり：

$$R_{cr} = r_0^2 / 2KV \quad (3)$$

これは該制御電圧  $V$  に逆比例する。斯くして円形の構成の多層圧電要素の最も簡単な場合には変形された波面の曲率に比例する対応するフォトダイオードの差信号と制御電圧に比例する変形可能バイモルフ鏡反射面曲率との間に一対一の対応がある（この場合には異なる信号は放射受容フォトダイオードから取り去られ、その配置及び寸法はバイモルフ鏡多層圧電要素に対応する）。故に考慮された場合にはフォトダイオードの差信号に比例する強度の制御電圧が印加されるときに一つの中心圧電要素を有するバイモルフ鏡の変形は入力（歪まされた）光ビームでの波面曲率補正を生ずる。提案された適応光学モジュールでの考えられた最も簡単な場合は変形可能なバイモルフ鏡の中心多層圧電要素（図4を参照）及び該放射受容器（図5を参照）に対応する。圧電要素の六角形構成及び放射受容器副開口の場合には上記例示された理由はなお有効である。何故ならば六角形の領域と該六角形内に内接する円形の領域との差は顕著ではないからである。

図4に示される多層圧電要素21に対して要素の変形が生ずるときにバイモルフ鏡反射面の構成は該圧電要素が円形であるときの場合に対してさえ式(2)と異なる。それは鏡の端に対する圧電要素の変位により引き起こされる。最も内側の多層圧電要素の制限内にもかかわらず該差はほとんどなく、バイモルフ鏡反射面曲率は該圧電要素の制限内で該要素に印加された制御電圧に比例する（例えばバイモルフ鏡に対してモノリシック圧電板と区画化された制御電極からなり、それは以下に示す文献に記載されることから証明される：A.V.Ikramov, I.M.Rostchupkin, A.G.Safronov, Kvantovaya elektronika, 1994, v.21, N 7, pp.665-669放射受容器の対応するフォトダイオード24（図5を参照）からの差信号に比例する制御電圧が内部圧電要素21（図3、4を参照）に印加されるときに入力光学ビームの歪まされた波面の局部曲率の補正は故に実施される。

内部の多層圧電要素21（図4を参照）により占有される全体の開口が入力光

学ビーム断面内で見いだされる場合には最後の理由がなお許容されている。これはまた放射受容器の内部のフォトダイオード 24 (図5を参照) により占有される全体の開口にもまた関する。

バイモルフ鏡の单一の多層圧電要素 21 (図4を参照) 及び放射受容器の单一の開口 24 (フォトダイオード) (図5を参照) は円形の構成を有する (図4、5には示されない)。この場合には図4、5に示されるような六角形の構成と比較して单一多層圧電応答関数のより大きな対称性が異なる可能な角度方向での該応答間数の曲率と等しいことによりもたらされる。より大きな対称性により入力光学ビーム歪み波面での実際の局部曲率 (対応するフォトダイオード差信号が該曲率に比例する) と変形可能なバイモルフ鏡反射面の制御可能な局部曲率との間のより対応が得られ、それは存在する位相歪み補正精度の増加を最終的にもたらす。圧電要素 21 (図4参照) とフォトダイオード 24 (図5参照) の六角形構成が光開口の制限内で最密充填を提供する。圧電要素による光開口のより密度の高い占有は、他のことが圧電領域に比例するより大きな (明確ではないが) 反射面変形振幅と等しいときに、(式(2)を参照) 提供される。

図4に示される周辺の多層圧電要素 21 に対して光開口ゾーン内のバイモルフ鏡反射表面構成は該要素の変形の下に、局部周辺傾斜に対応し、即ち制御電圧が周辺の圧電要素 21 に印加されるときに変形可能なバイモルフの反射表面 20 は (図3を参照) 光開口に対応するゾーン内である程度傾斜する (A.V. Ikramov, S. V. Romanov, I. M. Rostchupkin, A. G. Safronov, A. O. Sulimov, Kvantovaya elektronika, 1992, V.19, N 2, pp. 180-183を参照)。該条件の厳密な実施は該バイモルフ鏡及び周辺多層圧電要素 21 (図3、4を参照) の配置に入射し、光学的ビームの横方向寸法の条件設定により達成され

る。モノリシック圧電板の区域的な電極に対する特徴的な例は次の論文に提示される: R. Arsenault, D. Salmon, J. Kerr 等による "PUEO", The Canada-France-Hawaii Telescope Adaptive Optics Bonnette. 1 "System Description" - Proc. SPIE, 1994, vol. 2201 p. 832-842斯くして放射受容器のある周辺フォトダイオード 24 (図5を参照) の差信号間の一対一対応が存在し、これは片側の入射光ビーム

ム断面の対応するゾーン内の歪んだ波面位置に比例し、光開口に対応するゾーン内の変形可能なバイモルフ鏡反射面局部傾斜は他の側の対応する周辺多層圧電要素に印加された制御電圧に比例する。故に放射受容器の対応する周辺フォトダイオード24(図5を参照)からの差信号に比例する制御電圧が周辺圧電要素21(図3、4を参照)に印加されるときに入射光ビームの歪んだ波面の局部端(周辺の)傾斜は発生する。提案された適応光学モジュール内の記載された位相補正に加えてダイナミック整列ヘッド1(図1を参照)の使用で波面の共通傾斜を補正可能である。それは以下のようにして実現される。差電子信号は同期検出器及び減算回路26(図6参照)から変換器30に印加され、これはダイナミック整列ヘッド1(図1を参照)の2つの圧電駆動体14及び17(図2を参照)により制御信号を発生する。最も簡単な場合には該圧電駆動制御信号は4つの別の群の全ての周辺フォトダイオード24のユニット化(より正確にはその差信号)により発生され、そのそれぞれの配列は図2に示される2つの相互に垂直な軸X、Yの4つの方向の一つに対応する。更に該群のそれぞれの全ての異なる信号の和が形成され、それは4つの単一信号の発生をもたらし、そのそれぞれは2つの相互に垂直な軸X、Yの4つの方向の一つに対応する。(該総和信号の代わりに4つの單一周辺フォトダイオード24の4つの異なる信号を単に選択することも可能である。)それから一つの軸X又はYの対向する方向に対応する信号の相互の差が形成される。その様にして形成された各信号は対応する軸に沿った入力光学ビーム波面に比

例することは明らかである。上記の全ての動作は該変換器30(図6を参照)により実行されその後発生された信号は該増幅器29で増幅され、ダイナミック整列ヘッド(図1を参照)の対応する駆動体14と17(図2を参照)に供給される。

対応する圧電駆動器14、17の接続及び支持体13、16(可動ベース15とフレーム18と共に図2を参照)はヒンジの形で形成され、それは対応する圧電駆動体14、17の変位が発生するときに2つの相互に垂直な軸X、Yに沿った可動フレーム18の傾きを提供する。変形可能バイモルフ鏡2はダイナミック

整列ヘッド1(図1参照)の可動フレーム18に固定される。制御電圧が変形可能なバイモルフ鏡1(図1)の回転により増幅器入力29(図6参照)から該圧電駆動体14、17(図2参照)に印加されるときに入力光学ビーム歪み波面の共通の傾斜の補正は2つの軸に沿ってなされる。上記の特殊なダイナミック整列ヘッドの代わりにその動作ダイアグラムは図2に示され、規格化された製造サンプルが用いられる(例は前記に示される)。これに加えて該ダイナミック整列ヘッドでの圧電制御駆動体の使用はまた任意である。それらの代わりに原理的には電気的な制限、電磁的駆動などのどのような他の駆動体も使用可能である。

例えば時間変動されたダイナミック位相歪みが発生したときに、該適応光学モジュールの動作は波面局部曲率の補正と、その局部周辺傾斜とそれぞれの該対応するチャンネル内の共通の傾斜とが逐次的な過程であり、その目的は光学システム品質の向上である(画像改善、ダイナミック焦点等々)という差を除いて上記と類似である。

上記に基づき、提案された適応光学モジュールは光学放射位相歪みの有効な補正をなすことが確認できる。上記のようになされた考察に関して記載された設計により、実質的なレンジ拡大とその受容されたパワーレベルの同時の増加を有する該特性の全ての組合せと、

該適応光学システムの単純化、即ち全ての特徴の該組合せが該技術的結果を得ることを可能にすることにより光学放射位相歪み補正精度増加がもたらされる。

提案された装置の調整及び最適化に関するある注意をなすことが適切である。第一に上記繰り返されたように一方の側での放射受容信号間の比例性及び変形可能なバイモルフ鏡2とダイナミック整列ヘッド1の他の側での制御動作は電子的増幅器-変換器8の対応するチャンネルでの増幅器25と298の利得係数の経験的選択により達成される。第二に位相歪み補正の精度の更なる増加と行列C(式1)に非対角要素を加えることによりシステム時間収束の減少をなしうる。行列Cの該非対角要素は異なる参照光源を用いて適応光学モジュール構成により試験的に決定される。

光学放射位相補正精度の増加をもたらす従来技術及びその知られた類似物と比

較された提案された適応光学モジュールに存在する一以上の特徴の存在がまた必要である。従来技術及びその類似物での上記両方から始めて輪状区画の形を取る制御電極を有する変形可能なバイモルフ鏡が用いられる。故に異なる角度方向でのその寸法は異なる。故に制御電圧がその様な該鏡の局部曲率に印加されるとときに反射面（即ち電極の制限内）は異なる方向に対して異なる。それは式（3）から特に明らかであり、ここで反射面局部曲率半径は電極半径  $r_0$  の平方に比例する。より計算が正確なら制御電極に対する明白な結果が以下の論文に記載される：A.V.Ikamov, I.M. Rostchupkin, A.G.Safronov, Kvantovaya elektronika, 1 994, v.21, N 7, pp.665-669）

該論文での結果の一つは区画化された電極応答関数の断面は橢円であり、それは厳密に言えば異なる方向でバイモルフ鏡反射面（電極の制限内の）の異なる局部曲率を意味し、それは今度は異なる方向へ該鏡から反射された放射波面の異なる補正可能な局部曲率と等価である。他方で单一の副開口の制限内の放射受容器により測定さ

れた波面の局部曲率はある選択された角度方向ではなく、ここで局部曲率半径は実質的に他の方向と異なる。例として示されたその理由の一つは入力光学ビーム内の入射位相歪み特性である。これに加えて該放射受容器の单一の開口の制限内の入力光学ビーム内の波面局部曲率はそれぞれ2つの空間的方で異なりここで該副開口は実質的に異なる幾何的寸法を有する（従来技術で該放射受容器の区画的副開口に対して該方向は半径方向に対応し、それに垂直な方向に対応する）。知られた類似技術と従来技術では放射受容器の单一副開口の制限内の実際に測定された波面局部曲率と鏡制御電極の空間対称性の低いオーダーにより引き起こされた変形可能なバイモルフ鏡の対応する制御電極の制限内の補正可能な局部曲率との間は不均衡である。該不均衡は知られた類似技術及び従来技術及び補正精度の減少で位相歪み補正残留誤差の増加を生ずる。

提案された適応光学モジュールで知られた類似技術及び従来技術から離れて单一多層圧電要素の構成は円又は六角形であり、それにより知られた類似技術及び従来技術のどの場合にも制御電極区画化構成と比較して異なる角度方向で該圧電

要素の寸法の等価性（又はほとんど等しいこと）がもたらされる。提案されたモジュールでは单一圧電応答関数はより大きな対称性を有し、即ち対応する圧電要素の制限内の表面鏡局部曲率の半径が異なる角度方向に対して同一（又はほとんど同一）である。結果として計算された局部曲率と補正された局部曲率との間の完全な（又はほとんど完全な）対応が得られる。従ってそれにより提案された適応光学モジュール内で増加された光学放射位相歪み補正精度の増加を得る。

この場合には提案された発明の対応する特徴は該変形可能バイモルフ鏡の半受動バイモルフ構造の多層圧電要素は六角形又は円形の構成を有し、六角形モザイクシステムを構成し、該放射受容器は円形又は六角形の光開口を有するフォトダイオードの六角形の配列の形を取るよう作られる。上記のように提示された理由はこの場合に

は19又は37の制御電極（頁参照）の六角形システムを有する半受動的変形可能なバイモルフ鏡からなる望遠鏡内の大気位相歪みの補正の従来技術のレベルの適応光学システムから知られていることに関して完全に正しく、望ましい。斯くて請求項1記載の全ての特性の組合せのみが実質的に技術的な結果、即ち第一に光学放射位相歪み補正精度の、第二にその範囲の広域化の保証されたかなりの増加を得ることを可能にする。

提案された適応的な光学モジュール内のレンズ31の付加的な配列の利用は図7に示され、その單一副開口32の設計及び配列は図8に示される。この場合には適応光学モジュールの動作は上記提示されたものと2つの最大に対応するが符号が逆の両方の焦点外画像の差と類似であり、変調鏡4（図7を参照）の曲がりは放射受容器5上に直接ではなく、レンズ31の配列上に形成される。該配列の各々の副開口32（図8を参照）は光学的放射を放射受容器（図7を参照）の対応するフォトダイオード24（図5を参照）に向ける（該放射を合焦する）。他の全ての点で上記全ての精密さを含む該提案されたモジュールの動作は上記提示された記載に対応する。上記の考察に関して該記述された設計は該特徴の組合せにより即ち、該モジュールが放射受容器の前に配置される円形の光開口を有するレンズの六角形配列で提供され、即ち上記の技術結果を得ることが可能な適応光

学モジュール感度の増加と更なる（請求項1に付加的な）適応光学システムの簡単化を提供する。

放射受容器5（図7を参照）の対応するフォトダイオード24（図5を参照）はレンズの六角形配列（図7の位置31を参照）の対応する副開口32（図8を参照）の焦点に配置される。丁度その場合が図7に示される。これに加えてこの場合には例えばアバランシェ型のドット副開口（感受性パッド）を有する单一のフォトダイオードを用いることを可能にする。

提案された適応光学モジュールでファイバー光学ケーブル34の

組の使用は図9に示される。この場合には該モジュールが光学要素33と共に設けられ、片側でレンズの六角形配列に結合される。合焦パワー及び該光学要素33の長さはレンズ六角形配列の全ての副開口の焦点は図9に示されるその背面と一致する。一方の側で該光学要素33を通してレンズ六角形配列单一開口に（より正確に言えばその焦点に）結合され、他の側で該放射受容器5の対応するフォトダイオードに結合される各ファイバー光学ケーブル34はレンズ配列の現在の副開口に入来し、対応する受容器フォトダイオードへの光学放射の伝送を提供する。他の全ての点で全ての上記精密さを含む該提案されたモジュールの動作は上記提示された記載に対応する。

各ファイバー光学ケーブル34（又はそれからの）光学放射の到来又は抽出は図示されない傾斜光学要素（gradans）により実施されるものである。これに加えて該放射受容器5の单一のフォトダイオードは上記六角形配列の形ではなく、ランダムな順で配列される。

該モジュールの入力10と出力11光学窓を有する筐体9の使用は図1に示される。この場合には入力光学放射（ビーム）は該適応光学モジュールの共通筐体9内の該入力光学窓10を通過する。該筐体内では放射受容器5を含む全ての光学要素が配置される。出力（補正された）光学ビームは出力光学窓11から外側に抽出される。該窓はビーム分割要素3（図1に示される）から反射されたビームの路内で及び該要素（図1に示されない）を通過するビームの路内の両方で配置される。最後の場合には変調鏡4の配置はまた変化される。他の全ての点で上

記の精密さ全てを含む該提案されたモジュールの動作は上記提示された記載に対応する。

この場合には入力光学窓は対物レンズの形に作られ、その入力光開口は該モジュールに入来するビームの横方向の寸法に対応し、その出力光開口はそこに入射されるビームに関する該鏡の傾斜角度

に関して変形可能な鏡の制御可能な光開口で条件付けされる。提案された適応光学モジュールの該違いはその機能的な潜在性能の実質的な拡大を提供する。実際にその様な場合には提案されたモジュールは異なるアクセサリーヘッドの組と共に保存され、そのそれは外的な光学システムを有する該モジュールの条件を提供する。類似の光学ヘッドはまた該出力光学窓11の代わりに用いられ、それは図示されていない。提案された適応光学モジュールでの変形可能なバイモルフ鏡2(図1を参照)を増加する入力光学放射レベルパワーが冷却可能な製品の形で作られるものである。本発明のこの種類は図には示されない。その様な場合位は全ての上記精密さを含む提案されたモジュールの動作は上記提示された記述に対応する。上記導かれた考察に関して該記載された設計は該特徴の組合せにより増加する、即ち該変形可能なバイモルフ鏡は半受動バイモルフ構造の形で作られ、同時に冷却可能な製品、即ち上記技術結果を得られる入力光学放射の受容されたパワーレベルを提供する。

#### 産業での応用

適応光学モジュールは標準の産業装置、知られた材料、生産操作の使用で実現可能である。提案された適応光学モジュールの主部分は標準又は試験的な産業産物であり、又は該部品は同じ発明者の他の特許に記載される。例えばレーザー産業コンプレックスで用いられる独国のD i e h l G m b H & C o . , の産業1チャンネル適応光学システムのような光学(レーザー)放射波面歪みの補正の現代のシステムと比較して提案された適応光学モジュールは以下の利点を有する(チャンネル数の差は無視する)：

1. その設計の簡単さ、これは極度に簡単な光学及び電子的部品の最小の組により提供される。

## 2. 自動化されたオプトエレクトロニクス装置の形を取る共通の筐

体内で全ての光学システムの実現。その様な特徴はその特徴を改善するためにレーザーシステムで付属品（モジュール）として該装置を用いることを可能にする。例えば産業用レーザーは該モジュールでストック可能であり、光開口の状態決めは対応するコリメータによりなされ、これはアクセサリーとしてヘッドが入力窓の代わりに設けられる。同様にして該装置は他のレーザーシステムとともに用いられる。

3. 回路及びレーザー又は光学システムに干渉せず、ここでは位相歪みが補正される。この長所は非常に重要である。何故ならば例えば適応共振器を有するレーザーの製品のように製品内で開発し、入れるのにより複雑さが存在するからである。後者の場合にはレーザー回路及び設計の最適化の問題を決定しなければならない。それにもかかわらず以下の結果全てを有する絶対的に新たなレーザーの開発と製造は問題である。提案された適応光学モジュールを使用した場合にはこれら全ての問題はもはや生じない。レーザー又は光学システムの他のクラスでの類似の状況がある。

4. レーザーシステムを含む異なるクラスの光学システムに対する該適応光学モジュールの汎用性。特定の装置として該適応光学モジュールはその設計目的に対して異なるシステムと組み合わされて用いられる。同じモジュールは干渉計及びレーザー放射検出システムとともに産業用レーザーで動作する。光開口を条件づけるために用いられるアクセサリーヘッドの組は実質的に特定のモジュールの潜在能力を広げうる。

5. 異なるスペクトル範囲のレーザー又は光学システムに関する該適応光学モジュール及び設計の汎用性。レーザー又は光学的放射波長が変化したときにモジュール回路はなお不变であり、単に：1) 鏡要素の反射コーティング；2) 透過光学系の材料（外部窓及びビーム分割器要素）；3) 放射受容器はこのような場合には変化する。しかしながら上記部品の設計パラメータはなお不变である。

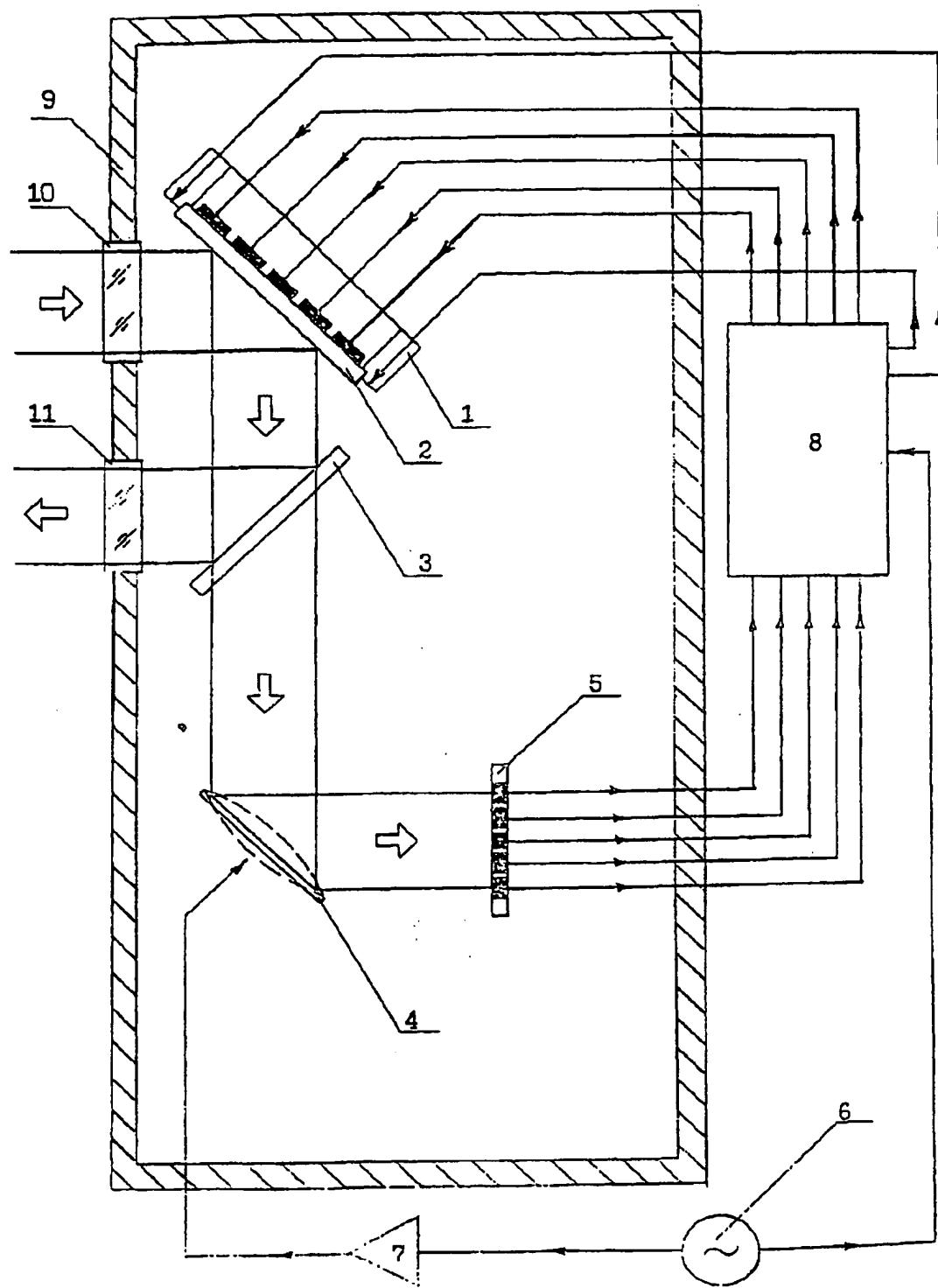
6. 適応光学モジュールでの回路、構造、技術のいかなる変化もなしに位相補正

の精度と効率の更なる増加に対してチャンネル数を可能な限り増やすことを可能にする。

7. 適応光学モジュールの使用と実現は光学及びレーザーシステムの品質に対する要求を減少しうる。例えば光学要素不整列に対する耐久性、設計安定性、能動媒体純度、等々は産業用レーザー及び他のレーザーシステムでも類似に減少される。その様な環境はその価格が疑いなく減少するような該システムのコストに実質的に影響する。これに加えてその低い特性により広く用いられることを見いだせないレーザーと光学システムの応用の分野は幅広くなる。何故ならば該特性はレーザー適応モジュール使用により改善されるからである。

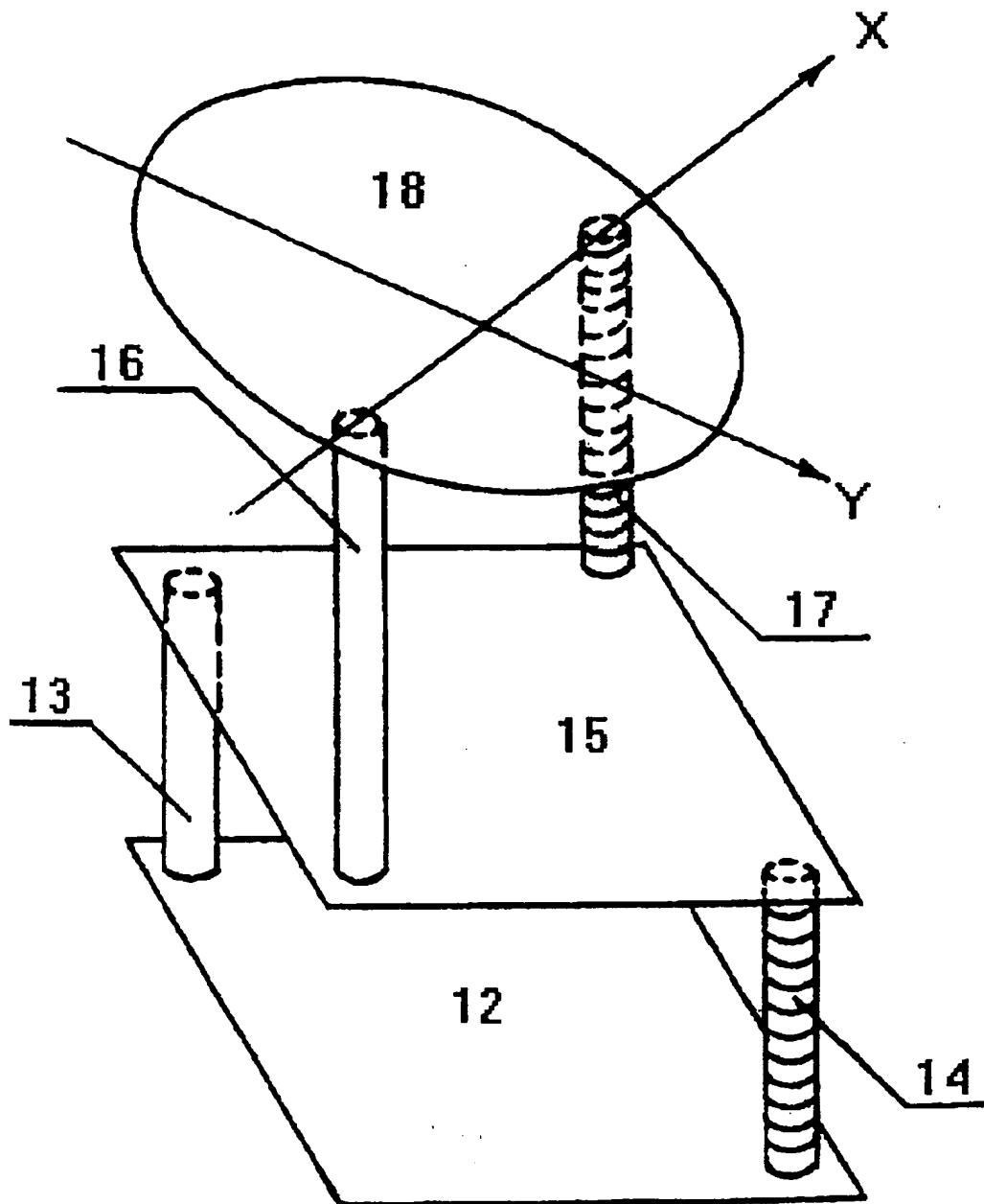
本発明は例えば遠隔光源画像品質を向上（例えば地球攪乱効果の補正のような）する目的用の大気望遠鏡のような高精度を有する光学ビーム位相歪みダイナミック補正の実施に対してどのような光学システムでも用いられ得る。

【図1】



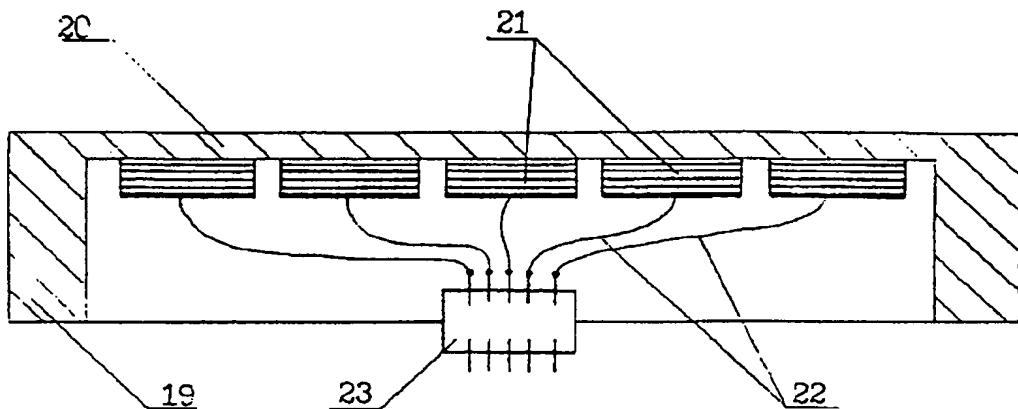
Фиг. 1.

【図2】



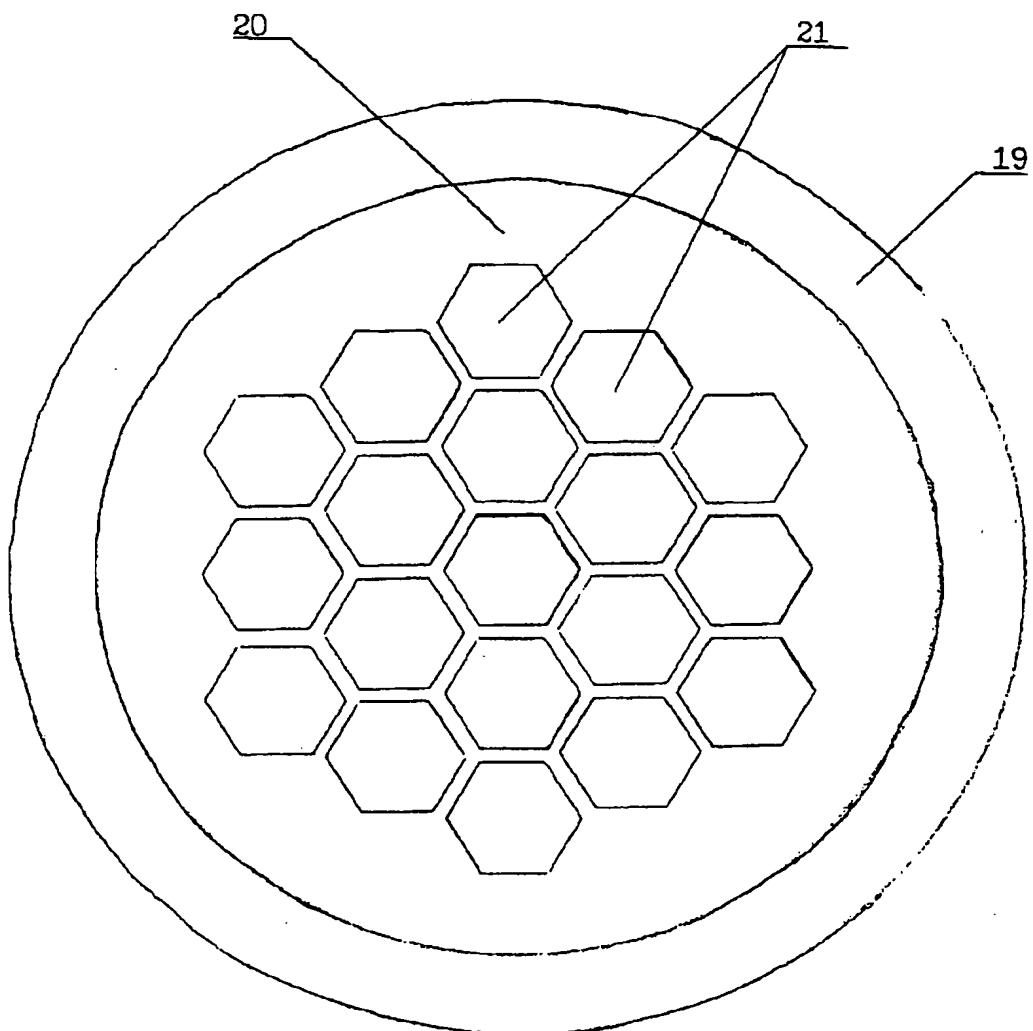
Фиг.2.

【 図 3 】



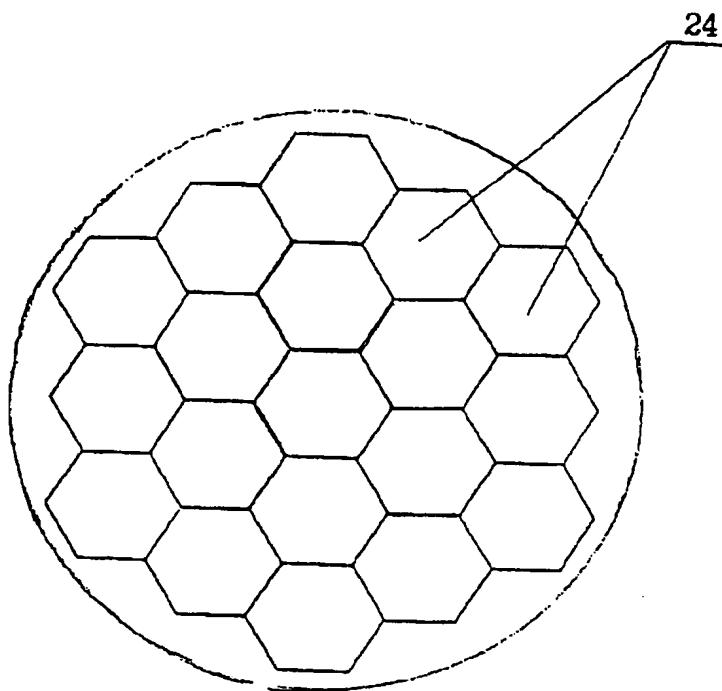
Фиг. 3

【図4】



Фиг. 4

【図5】



Фиг. 5

【図6】

## ADAPTIVE OPTICAL MODULE.

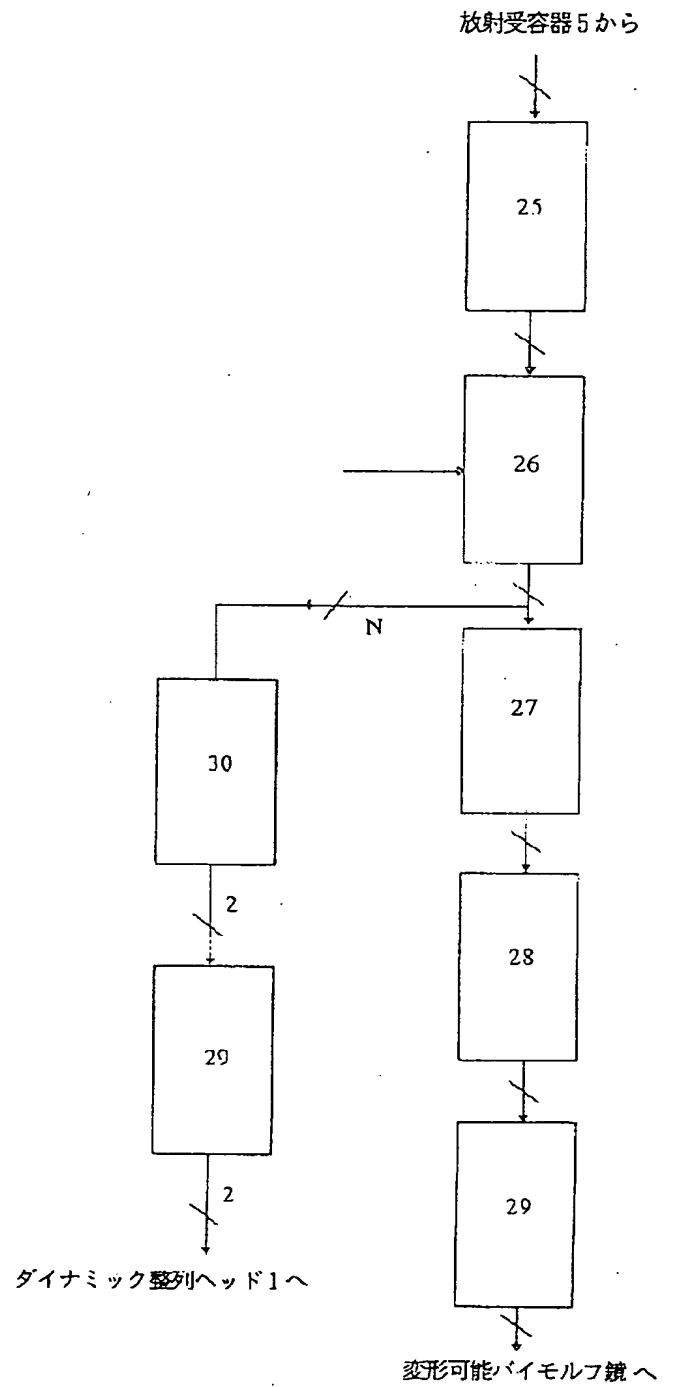


Fig. 6.

【図7】

## ADAPTIVE OPTICAL MODULE

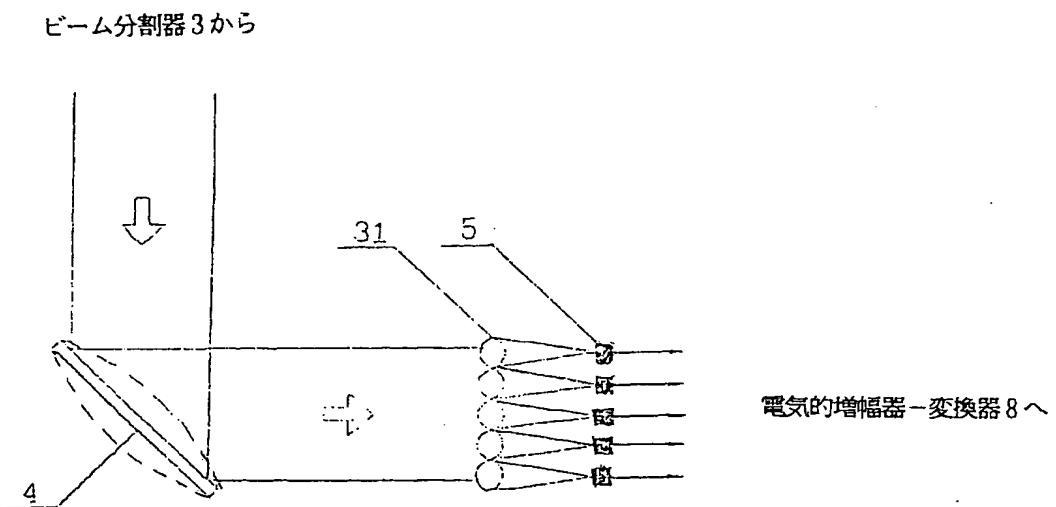
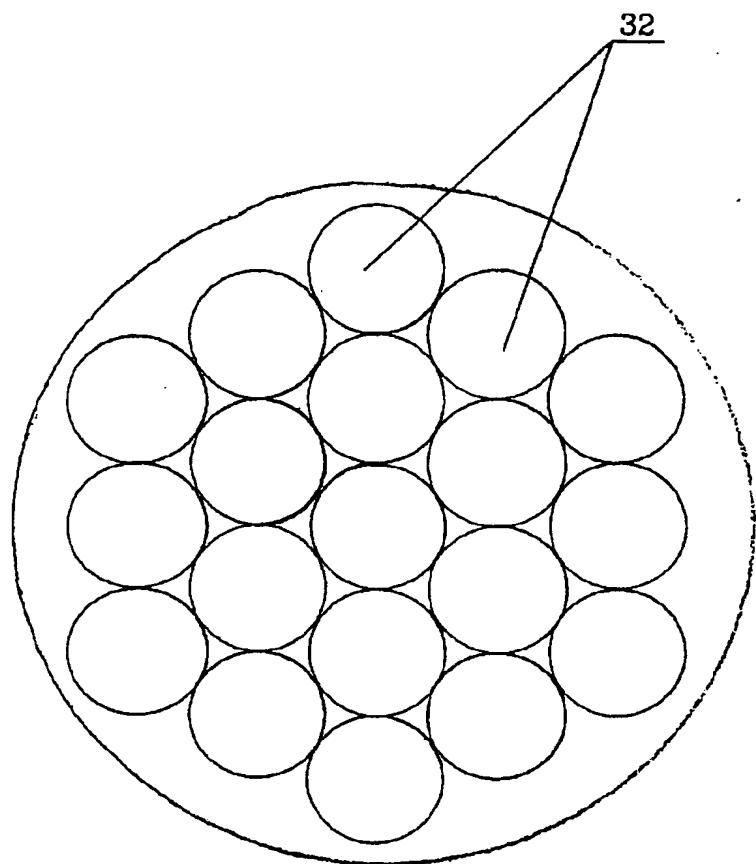


FIG. 7.

【図8】



Фиг. 8.

【図9】

## ADAPTIVE OPTICAL MODULE

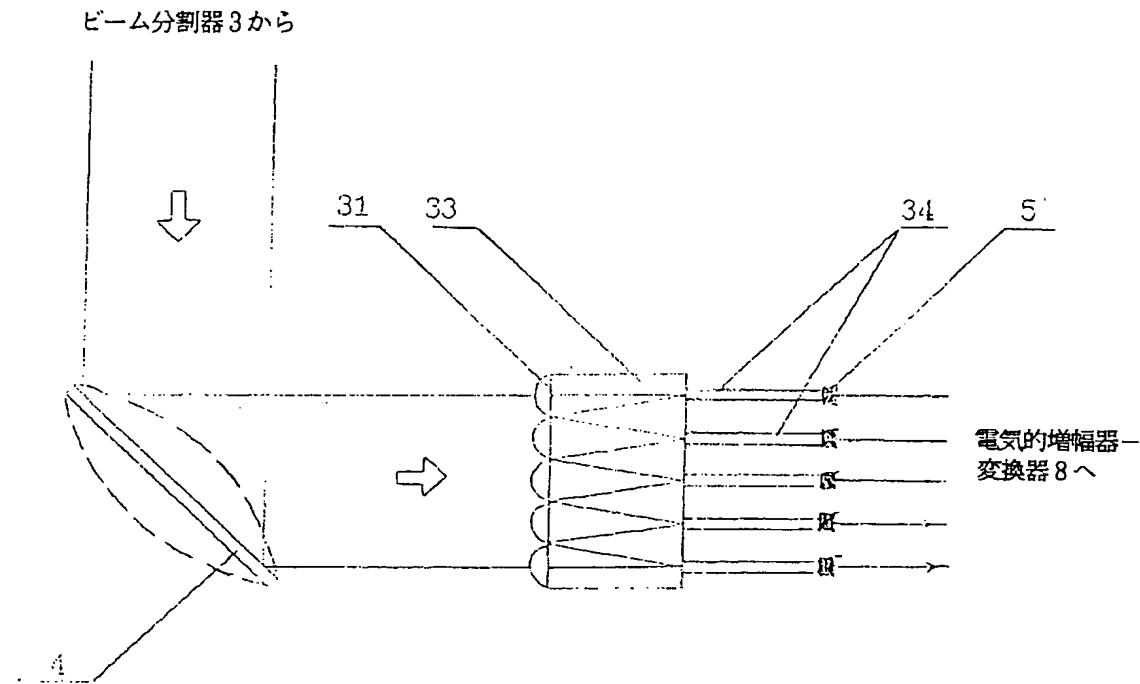


FIG. 9.

## 【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/RU 96/00161
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
IPC <sup>6</sup> : G02B 26/06 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC <sup>6</sup> : G02B 5/08, 5/10, 26/00-26/08, G02F 1/29		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category <sup>a</sup>	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP, A1, 0546811 (HUGHES AIRCRAFT COMPANY) 16 June 1993 (16.06.93) ---	1-8
A	US, A, 5396364 (HUGUES AIRCRAFT COMPANY), 07 March 1995 (07.03.95) ---	1-8
A	SU, A1, 1615655 (LENINGRADSKY INSTITUT TOCHNOI MEKHANIKI I OPTIKI), 23 December 1990 (23.12.90) ---	1,9
	-----	
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claims) or which is cited to establish the publication date of another cited document or other special reasons (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "T" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 28 August 1996 (28.08.96)		Date of mailing of the international search report 05 September 1996 (05.09.96)
Name and mailing address of the ISA/ RU		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

---

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT, BE, CH, DE,  
DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, L  
U, MC, NL, PT, SE), UA(AM, AZ, BY  
, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), AL, AM  
, AU, BB, BG, BR, CA, CN, CZ, EE,  
FI, GE, HU, IS, JP, KE, KG, KP, K  
R, KZ, LK, LR, LS, LT, LV, MD, MG  
, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, RO,  
SD, SG, SI, SK, TJ, TM, TR, TT, U  
A, UG, US, UZ, VN